

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Měření charakteristiky plynových kulových kohoutů  
Measuring of the Characteristics of the Gas Ball Valves

Student:

Daniel Fus

Vedoucí bakalářské práce: prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

Ostrava 2016

## Zadání bakalářské práce

Student: **Daniel Fus**

Studijní program: B2341 Strojírenství

Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení

Téma: **Měření charakteristiky plynových kulových kohoutů**  
**Measuring of the Characteristics of the Gas Ball Valves**

Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

1. Charakteristiky ventilů, definice, měření charakteristiky plynových ventilů podle normy, rešerše.
2. Přehled měřidel rychlosti a tlaku pro vzduch.
3. Popis zařízení pro měření charakteristiky (aerodynamický tunel).
4. Měření ztrát a určení charakteristik vybraných ventilů.
5. Grafické zpracování výsledků a porovnání výsledků s literaturou.

### Seznam doporučené odborné literatury:

- DRÁBKOVÁ, S. A KOL. *Mechanika tekutin*. OSTRAVA: VŠB-TU Ostrava, 2007. 248 s. (Elearningová učebnice). ISBN 978-80-248-1508-4.
- BOJKO, M. AJ. *Základy hydromechaniky a zásobování hasiv*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2007. 182 s., ISBN 80-86634-53-1
- MILLER, D. S. *Internal Flow System*, BHRA UK, 396 s. ISBN 0-947711-77-5.
- KOZUBKOVÁ, M. *Simulace a modelování hydraulických systémů*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2014. 149 s. (Elektronická publikace na CD ROM).
- FABIAN, P. *Metody matematického a fyzikálního experimentu v proudění*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, Dizertační práce. 2008. 120 s.
- ČSN EN 1267 *Průmyslové armatury – Měření průtokových ztrát s použitím vody jako zkušební tekutiny*. Srpen 2012.
- ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997.
- ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 2011.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016

---

doc. Dr. Ing. Lumír Hružík  
vedoucí katedry

---

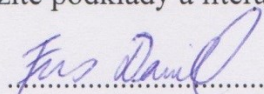
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....10. 5. 2016.....

..........

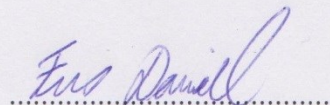
podpis studenta



Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 10.5.2016



Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Daniel Fus

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Polní 13, Kobeřice 747 27

### Poděkování

Rád bych poděkoval prof. RNDr. Miladě Kozubkové, CSc. za odborné vedení, vstřícnost, cenné rady, její čas a vyřešení jakéhokoliv problému, který nastal. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Janě Jablonské, Ph.D. a Ing. Josefu Dobešovi za technickou podporu, ochotu a konzultaci při aerodynamickém tunelu.

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

FUS, D. Měření charakteristiky plynových kulových kohoutů: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2016, 47s. Vedoucí práce: prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

Bakalářská práce se zabývá měřením charakteristiky plynových kulových kohoutů. Teoretická část obsahuje základní pojmy a seznámení se s charakteristikami kohoutů. Praktická část obsahuje vyhodnocení naměřených hodnot. Měření probíhalo v aerodynamickém tunelu. Cílem práce bylo zjistit charakteristiky kulových kohoutů, tj.  $\Delta p=f(Q)$  charakteristiky, další charakteristiky byly  $\Delta p=f(Q^2)$ , ze kterých se určil ztrátový součinitel a následně byla vyhodnocena závislost ztrátového součinitele na přivření.

## **ANNOTATION OF BACHELOR THESIS**

Fus, D. Measuring of the Characteristics of the Gas Ball Valves. Bachelor thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Hydrodynamics and Hydraulic Equipment, 2016, 47 pages. Supervisor: prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.

This bachelor thesis deals with the measurement of characteristics of the gas ball valves. The theoretical part includes basic concepts and familiarization with the characteristics of valves. The practical part contains an evaluation of the measured values. Measurements were realized in the wind tunnel. The goal was to identify characteristics of ball valves, i.e.  $\Delta p=f(Q)$  characteristic, further modification of the basic characteristics  $\Delta p=f(Q^2)$  to determine the loss coefficient and afterwards the dependence of loss coefficient at throttling was evaluated.

# Obsah

Seznam použitých značek a symbolů .....	10
1. Úvod .....	12
1.1 Kulový kohout .....	12
1.2 Materiály .....	13
1.3 Základní pojmy .....	14
1.3.1 Jmenovitá světlost DN .....	14
1.3.2 Jmenovitý tlak PN .....	14
1.3.3 Maximální pracovní teplota .....	15
1.3.4 Průtokový součinitel a průtočná charakteristika .....	15
1.3.5 Netěsnost .....	15
1.3.6 Autorita .....	15
1.3.7 Nejistoty měření .....	16
1.3.8 Kavitace .....	16
1.4 Ztrátové a průtokové součinitele .....	17
1.4.1 Ztrátový součinitel .....	17
1.4.2 Průtokový součinitel $A_v$ .....	18
1.4.3 Průtokový součinitel $K_v$ .....	18
1.4.4 Průtokový součinitel $C_v$ .....	19
1.5 Měření charakteristik armatur podle normy ČSN EN 60534-2-3 .....	20
1.5.1 Zkušební vzorek .....	20
1.5.2 Zkušební úsek .....	20
1.5.3 Nastavovací armatury .....	21
1.5.4 Měření průtoku .....	21
1.5.5 Tlakové odběry .....	22
1.5.6 Montáž zkušebního vzorku .....	22
1.5.7 Zkušební tekutiny .....	22
2. Přehled měřidel pro vzduch .....	23
2.1 Měření tlaku .....	23
2.1.1 Hydrostatická měřidla .....	23
2.1.2 Deformační měřidla .....	23
2.1.3 Měřidla se silovým účinkem .....	24
2.1.4 Elektrické tlakoměry .....	24



2.2	Měření místní rychlosti .....	24
2.2.1	Pitotova trubice .....	24
2.2.2	Prandtlůva trubice.....	25
2.2.3	Žárový anemometr .....	26
2.3	Měření střední rychlosti .....	26
2.3.1	Venturiho trubice .....	27
2.3.2	Clona a dýza.....	27
2.3.3	Výpočet střední rychlosti z místních rychlostí.....	27
3.	Aerodynamický tunel.....	29
3.1	Aerodynamické tunely .....	29
3.2	Kalibrace sondy .....	31
3.3	Měření parametrů tunelů .....	32
3.4	Měření charakteristik kohoutů .....	34
4.	Měření vybraných armatur .....	35
4.1	Popis měření.....	35
4.2	Vyhodnocení nejistoty měření .....	36
4.3	Výsledné charakteristiky kulových kohoutů.....	38
5.	Závěr.....	45
6.	Seznam použité literatury.....	46
7.	Seznam příloh .....	47

## Seznam použitých značek a symbolů

### Značky

a	autorita	[-]
$A_v$	průtokový součinitel	[m <sup>2</sup> ]
$A_{vs}$	jmenovitý průtokový součinitel	[m <sup>2</sup> ]
$C_v$	průtokový součinitel	[US gal.mm <sup>-1</sup> ]
$C_{vs}$	jmenovitý průtokový součinitel	[US gal.mm <sup>-1</sup> ]
$e_z$	měrná ztrátová energie	[J/kg]
DN	jmenovitá světlost	[mm]
g	tíhové zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
h	výška	[m]
$h_z$	ztrátová výška	[m]
$K_v$	průtokový součinitel	[m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ]
$K_{vs}$	jmenovitý průtokový součinitel	[m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> ]
n	počet	[-]
p	tlak	[Pa]
$p_c$	celkový tlak	[Pa]
$p_d$	dynamický tlak	[Pa]
PN	jmenovitý tlak	[MPa]
$p_s$	statický tlak	[Pa]
$p_z$	ztrátový tlak	[Pa]
Q	objemový průtok	[m <sup>3</sup> /s]
R	odporový koeficient	[kg.m <sup>-7</sup> s <sup>-2</sup> ]

Re	Reynoldsovo číslo	[-]
S	průtočná plocha	[m <sup>2</sup> ]
v	rychlost	[m/s]
Δ	rozdíl	[-]
ζ	ztrátový součinitel	[-]
μ	průtokový součinitel	[-]
ρ	objemová hmotnost (hustota)	[kg/m <sup>3</sup> ]

## Indexy

1	vstup
2	výstup
max	maximální
min	minimální
stř,s	střední

# 1. Úvod

V bakalářské práci se budu zabývat měřením charakteristik plynových kulových kohoutů, které byly pořízeny od firmy ARMATURY Group. Toto měření probíhalo v aerodynamickém tunelu, který patří Katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení. Proudícím médiem byl vzduch. Výsledkem tohoto měření bude zjistit tlakovou ztrátu kohoutů, charakteristiku  $\Delta p=f(Q^2)$ , ztrátový součinitel  $\zeta$  a průtokový součinitel  $\mu$ , to vše pro různé otevření.

## 1.1 Kulový kohout

Kulový kohout (viz [10], [12], [14]) patří do skupiny uzavíracích armatur, které slouží k úplnému uzavření nebo otevření průtoku dopravovaného média. Mezi dopravované média řadíme např. tekuté látky, vzduch, plynné látky nebo páru při teplotě do +250 °C.

Funkce kulového kohoutu je jednoduchá. Může mít jen dvě polohy, a to buď „otevřeno“, nebo „zavřeno.“ Je velice obtížné regulovat průtok s kulovým kohoutem. Kohout tvoří svařovaná konstrukce s plovoucí koulí. Výhodou kulového kohoutu je, že může pracovat za vysokých tlaků a teplot. Má velký rozsah výběru materiálů a velikostí. Kulový kohout v provozu nevyžaduje prakticky žádnou údržbu, seřizování a další úkony. Stačí mu věnovat pozornost jen jednou za půl roku, kdy se musí otevřít a zavřít. Pro abrazivní kapaliny a sterilní koagulující kapaliny se používají jiné typy průmyslových armatur, aby se zabránilo poškození těsnění koule.

Kulové kohouty můžeme rozdělit podle velikosti tělesa kohoutu, velikosti tlaku, teploty, materiálu, technického provedení a montáže. Tyto kohouty nemusí být ovládány jen pákou, mohou být také ovládané převodem, elektropohonem nebo pneupohonem. Připojení kohoutu s potrubím můžeme rozdělit na přírubové, přivařovací a závitové.

Z hlediska provedení, jestliže je kohout plně otevřený a nestojí protékajícímu médiu nic v cestě, se ztrátový nebo průtokový součinitel prakticky rovná potrubnímu. Potřebujeme-li však u armatury určitou autoritu, z důvodu malé deformace, využívá se redukce průřezu regulačního orgánu. Redukce se provádí v otočné kouli. Podle tvaru průřezu se určuje průtočná charakteristika.

Kulové kohouty se v praxi montují v poloze otevřeno do vodorovných či svislých potrubí. Z hlediska principu funkce se kohouty spíše hodí pro regulaci větších průtoků při nižších tlakových spádech (nad DN 200). Jestliže se při škrcení dostaneme do oblasti kavitace, začnou problémy s životností kohoutu. Řez kulového kohoutu je znázorněn na obr. 1 a popis jeho částí je uveden v tab. 1.

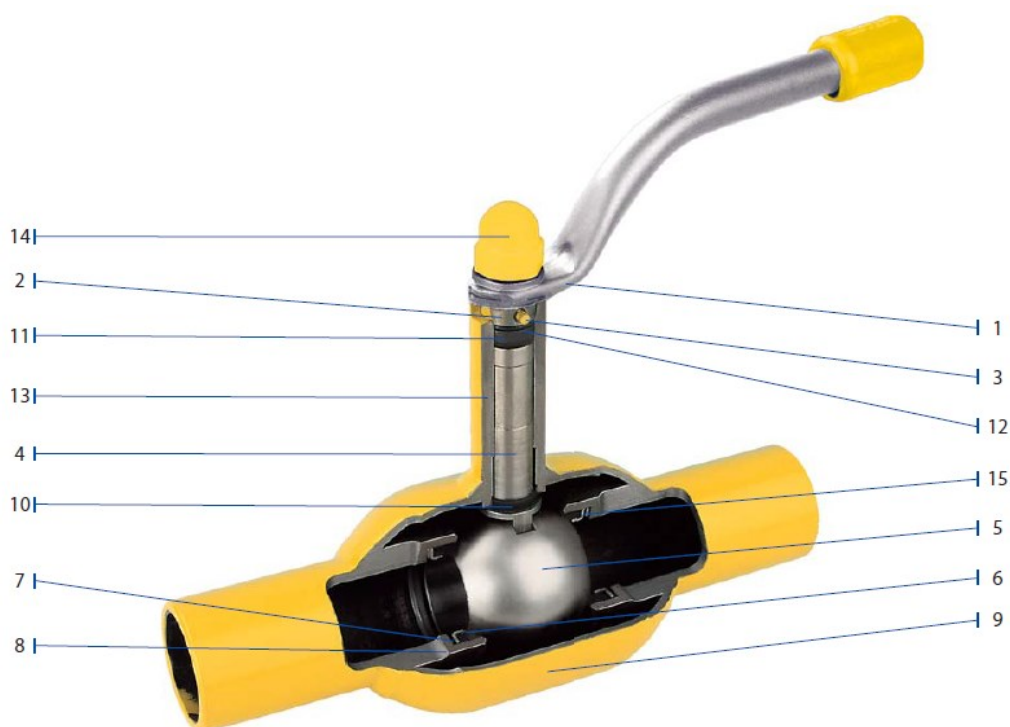


Těsnost kohoutu je dána těsnícím prvkem. Těsnění je v mnoha případech řešeno tlakem média. Rozhodujícím faktorem je tedy teplota a tlak. Při teplotě 130 °C, max. 150°C, se používají pryžová těsnění. U teplot 200 °C až 260°C se používá jako těsnivo teflon a různé jeho modifikace. Při vyšších teplotách se výlučně používá těsnění kov na kov.

## 1.2 Materiály

Životnost průmyslových armatur je zásadně ovlivněna její konstrukcí a materiály. Výběr materiálu je samozřejmě určen tím, v jakých podmínkách bude armatura pracovat. Jestliže bude umístěna např. do podzemního potrubí, tak musí být vhodná pro přepravované médium a splňovat tlak, teplotu, mechanické namáhání, vliv prostředí. Navíc tyto materiály musí splňovat příslušné normy. Prvním materiálem, který splňoval technické a ekonomické požadavky pro tělesa průmyslových armatur, byla litina. Její výhodou je dobré odlévání, formovací schopnosti a odolnost vůči korozi. Jedinou nevýhodou je křehkost [12].

V dnešní době se používají rozmanité druhy materiálu kulových kohoutů – např. ocelové, litinové, plastové a různé slitiny materiálu. Proto se kulové kohouty používají prakticky ve všech průmyslových odvětvích. V tab. 1 jsou stanoveny materiály a popisky kulového kohoutu.



obr. 1 Řez kulového kohoutu [10]

Pozice / Position	Součást / Component	Uhlíková ocel / Carbon steel
1	Páka / Lever	1.0254
2	Distanční kroužek / Spacer	1.4401
3	Kolík / Pin	1.2063
4	Vřeteno / Stem	1.4305
5	Koule / Ball	1.4301
6	Sedlo / Seat	PTFE + 20% C
7	Opěrný kroužek / Support ring	1.4301
8	Pružiny / Springs	1.1248
9	Těleso / Body	1.0254
10	Ucpávkový prstenec / Packing collar	PTFE + 20% C
11	"O" kroužek / "O" ring	NBR
12	Ucpávkový kroužek / Packing ring	PTFE + 20% C
13	Pouzdro / Bushing	1.0037
14	Matice / Nut	1.0715
15	"O" kroužek / "O" ring	NBR

tab. 1 Části kulového kohoutu s materiály [10]

## 1.3 Základní pojmy

### 1.3.1 Jmenovitá světlost DN

DN udává jmenovitou (nominální) vnitřní světlost vstupního a výstupního hrdla armatury v milimetrech. Běžně se používá u regulačních armatur stejná nebo menší světlost, než je světlost okolního potrubí. Menší světlost se používá zejména u větších tlakových spádů na armatuře. Je to výhodou hlavně u náročných aplikací – mohou se tím ušetřit značné finanční prostředky. Potrubí je nutné vybavit redukcemi (před a za armaturou) [14].

### 1.3.2 Jmenovitý tlak PN

PN udává jmenovitý tlak (tlakový stupeň) v tlakové třídě armatury. Ve vytápění se většinou jmenovitý tlak rovná maximálnímu pracovnímu přetlaku armatury v barech. Avšak pokaždé musíme zkontrolovat hodnotu dovoleného pracovního přetlaku, kterou udává výrobce, neboť na této hodnotě závisí pracovní teplota média a materiálu, z kterého je armatura vyrobena. Pro materiály dle ČSN platí norma ČSN 13 0010 "Jmenovité tlaky a pracovní přetlaky". Pro konstrukce vyrobené z materiálů ČSN EN pak platí norma např. ČSN – EN 1092-1 [14].

### 1.3.3 Maximální pracovní teplota

Maximální pracovní teplota armatury se rovná maximální pracovní teplotě média, při které může armatura pracovat. Nejvyšší teplota souvisí nejen s výše uvedeným PN, ale také je omezena jinými důvody, např. typem ucpávky či výběrem vhodného pohonu armatury [14].

### 1.3.4 Průtokový součinitel a průtočná charakteristika

Hlavním parametrem pro průtočnou charakteristiku je průtokový součinitel. Ten udává charakteristický průtok danou armaturou za přesně definovaných podmínek. S průtokovým součinitelem můžeme spočítat tlakovou ztrátu na armatuře za obecných podmínek či průtok pracovního média. Průtočná charakteristika je funkční závislost na poloze uzávěru regulační armatury a na okamžitém průtokovém součiniteli [14].

### 1.3.5 Netěsnost

Netěsností myslíme maximální netěsnosti v uzavřeném stavu. Většinou je tato hodnota spjata s maximálním průtokem ( $C_{vs}$ ,  $A_{vs}$  a  $K_{vs}$ ). Podle normy IEC 534-4-1982 máme definované podmínky zkoušení netěsnosti. Například je-li netěsnost dána 0,01% $K_{vs}$ , proteče touto armaturou v uzavřeném stavu jedna setina procenta  $K_{vs}$  zkušební tekutiny (tj. 0,0001 $\cdot K_{vs}$ ). Každý výrobce má však jiné podmínky zkoušení. Proto je důležité informovat se u konkrétního výrobce na jeho podmínky zkoušení, je-li to pro správný provoz důležité [14].

### 1.3.6 Autorita

Autorita nebo také vlivnost armatury či poměrná tlaková ztráta se v potrubí vyjadřuje jako poměr dispozičního tlaku při největším průtoku média k dispozičnímu tlaku při žádném průtoku média.

$$a = \frac{\Delta p_{Qmax}}{\Delta p_{Qmin}} \quad (1)$$

Průtočná charakteristika se deformuje změnou dispozičního tlaku. Aby byla armatura co nejlíp regulovatelná, bývá doporučena autorita větší než 0,5. V praxi však postačí, když se autorita pohybuje v hodnotách 0,3 až 0,5. Jestliže se autorita bude víc a víc blížit nule, tím víc se bude průtočná charakteristika rovnat ideální charakteristice armatury [14].

### 1.3.7 Nejistoty měření

Pojem nejistota měření je v podstatě chyba měření. Chyba měření nemůže být přesně určena, proto se zavádí pojem nejistota měření, která určuje ohraničené toleranční pásmo kolem měřené veličiny. Nejistoty měření se řídí pomocí mezinárodní Směrnice „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, která byla vydána v roce 1993 [15].

#### Určení variačního koeficientu z následujících vztahů

$$\text{Výběrový průměr: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

Výběrový rozptyl:

$$s_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right] \quad (3)$$

$$\text{Výběrová směrodatná odchylka: } s_x = \sqrt{s_x^2} \quad (4)$$

$$\text{Výběrový variační koeficient: } c_x = \frac{s_x}{\bar{x}} \quad (5)$$

Tyto metody jsou založeny na opakujícím se měření a výpočtu variačního koeficientu. Těchto přímých měření by mělo být alespoň deset [4].

### 1.3.8 Kavítace

Kavítace vzniká při škrcení armatury. V tomto ději vznikají a zanikají rázově parní bublinky, které tvoří hluk a vibrace. Tento jev velice ovlivňuje životnost armatury. Kavítace u armatur se vytvoří, pokud se statický tlak média dostane při průtoku armaturou pod hodnotu parciálního tlaku sytých par média. Projevuje se to v nejužším místě armatury, kde má médium nejvyšší rychlost. Kavitační koeficient se značí různě, např. D, a určuje odolnost armatury proti vzniku kavítace – viz [2],[3].

$$D = \frac{(p_1 - p_2)}{(p_1 - p_{\min})} \quad (6)$$

$p_1$ ,  $p_2$  jsou hodnoty statického tlaku na vstupu/výstupu armatury a  $p_{\min}$  je nejmenší statický tlak uvnitř armatury

Kavítace může nabývat hodnot 0 – 1, vyšší číslo znamená vyšší odolnost. Vyskytuje-li se kavítace velice výrazně u armatur, je nezbytně nutné zvolit škrtící systém, který minimalizuje její účinek. Můžeme použít např. děrovanou kuželku či navrhnout vícestupňovou redukci [14].



## 1.4 Ztrátové a průtokové součinitele

### 1.4.1 Ztrátový součinitel

V hydraulice nebo pneumatice mají všechny prvky nebo soustavy ztrátový součinitel. Ztrátový součinitel je bezrozměrné číslo v přímé závislosti místní ztrátové výšky na rychlostní výšce, která je vztažena ke zvolenému průtočnému průřezu. Se zmenšujícím se průtočným průřezem a se zvyšujícím se ztrátovým součinitelem bude průtok potrubním prvkem nižší [14].

Vychází z Bernoulliho rovnice:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + e_z \quad (7)$$

Měrná ztrátová energie  $e_z$  se vyjádří pomocí tlakové ztrátové energie  $p_z$ , ztrátové výšky  $h_z$  nebo pomocí kinetické energie vynásobená ztrátovým součinitelem  $\zeta$ .

$$e_z = \frac{p_z}{\rho} = g \cdot h_z = \zeta \cdot \frac{v^2}{2} \quad (8)$$

V našem případě pro vodorovné potrubí  $h_1=h_2$  a  $v_1=v_2$  tudíž platí:

$$e_z = \frac{p_1 - p_2}{\rho} \Rightarrow \Delta p = \rho \cdot \zeta \cdot \frac{v^2}{2}$$

$$v = \frac{Q}{S}$$

Odvození ztrátového součinitele  $\zeta$  a průtokového součinitele  $\mu$ :

$$\Delta p = \rho \cdot \zeta \cdot \frac{Q^2}{S^2} \cdot \frac{1}{2}$$

$$\Delta p = \rho \cdot \zeta \cdot \frac{1}{S^2} \cdot \frac{1}{2} \cdot Q^2 \Rightarrow \Delta p = R \cdot Q^2$$

$$R = \rho \cdot \zeta \cdot \frac{1}{S^2} \cdot \frac{1}{2} \Rightarrow \zeta = \frac{R \cdot 2 \cdot S^2}{\rho}$$

$$Q = S \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\zeta}} \cdot \sqrt{\Delta p}$$

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\zeta}} \quad (9)$$

Koeficient R se určuje regresí.

### 1.4.2 Průtokový součinitel $A_v$

Průtokový součinitel  $A_v$  se v dnešní době už příliš nepoužívá. Nahradil ho více používaný průtokový součinitel  $K_v$  [14].

V praxi se definuje:

$$A_v = Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (10)$$

### 1.4.3 Průtokový součinitel $K_v$

V evropských zemích a v zemích, kde je zavedena soustava SI, se nejvíc používá průtokový součinitel  $K_v$ . Průtokový součinitel  $K_v$  vyjadřuje objemový průtok, který proteče armaturou při určitém otevření a za určitých podmínek průtoku.

Základní rovnice:

$$K_v = \frac{1}{100} \cdot Q \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (11)$$

Tento vzorec je hlavně používán pro svou snadnou fyzikální interpretaci a především se používá v aplikacích, kde medium je voda ( $\rho=1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ). Po dosazení se rovnice změní na jednodušší tvar.

$$K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta p}} \quad (12)$$

Tato rovnice je používána především pro svou jednoduchost. Jestliže známe hodnotu  $K_v$ , můžeme dopočítat tlakovou ztrátu i průtok podle níže uvedených vztahů. Skutečnou tlakovou ztrátu dopočteme se známým průtokem jako:

$$\Delta p = \left( \frac{Q}{K_v} \right)^2 \quad (13)$$

a skutečný průtok dopočteme s tlakovou ztrátou:

$$Q = K_v \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (14)$$

U těchto vzorců se součiniteli  $K_v$  je nutné tlakovou ztrátu dosazovat v barech (1 bar = 100 kPa = 0,1 MPa) [14].

#### 1.4.4 Průtokový součinitel $C_v$

Průtokový součinitel  $C_v$  je používán celosvětově, zvláště tam, kde není zavedena soustava jednotek SI. S průtokovými součiniteli  $A_v$  a  $K_v$  jsou na stejné úrovni. Největší rozdíl je v použití jednotek. Průtokový součinitel  $C_v$  vyjadřuje, kolik US galonů vody proteče při teplotě 40-100°F za 1 minutu při tlakovém spádu 1psi (1 US galon = 3,7854 litru, 1 psi = 6894,8 Pa). Nejjednodušeji pro naše podmínky je převést hodnotu  $C_v$  na  $K_v$  a spočítat tlakovou ztrátu nebo průtok. Dále počítáme stejně jako s průtokovým součinitelem  $K_v$ , ale je nutné dát pozor na užívání správných jednotek (US galon/min, tlak v psi, hustota v librách na krychlovou stopu, 1 lb.ft-3 = 16,018 kg.m-3 ) [14].

Převody průtokových součinitelů pro rychlý výpočet jsou dány vztahy:

$$K_v = 8,65 \cdot 10^{-1} \cdot C_v$$

$$K_v = 3,60 \cdot 10^4 \cdot A_v$$

$$C_v = 1,16 \cdot K_v$$

$$C_v = 4,1 \cdot 10^4 \cdot A_v$$

$$A_v = 2,78 \cdot 10^{-5} \cdot K_v$$

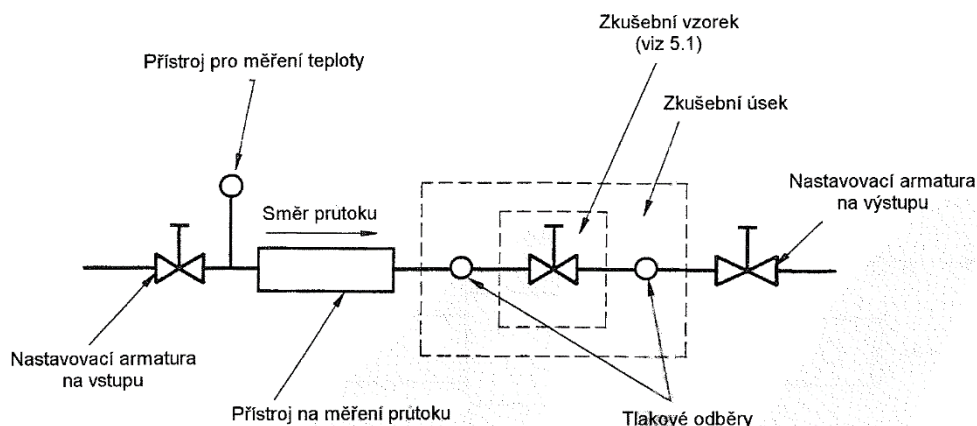
$$A_v = 2,40 \cdot 10^{-5} \cdot C_v \quad (15)$$

Vztah pro přepočet ztrátového součinitele na průtokový součinitel  $K_v$  a naopak:

$$K_v = 0,009 \cdot \pi \cdot DN^2 \cdot \sqrt{\frac{2}{\zeta}} \quad (16)$$

$$\zeta = 2 \cdot \left( \frac{0,009 \cdot \pi \cdot DN^2}{K_v} \right)^2 \quad (17)$$

## 1.5 Měření charakteristik armatur podle normy ČSN EN 60534-2-3



obr. 2 Schéma uspořádání průtokového zkušebního systému [6]

### 1.5.1 Zkušební vzorek

Jako zkušební vzorek může být použita jakákoliv armatura nebo kombinace armatur s konfuzory, difuzory či jinými přístroji. V nejlepším případě se modeluje ve skutečné velikosti, i když je povoleno měřit v menším měřítku. Musí se ale dodržet význam vztahů, např. Reynoldsovo číslo při průtoku výhradně zaplněným potrubím či Machovo číslo, kde je významný vliv stlačitelnosti. Umístění zkušební vzorku v experimentálním zařízení viz obr. 2 [6].

### 1.5.2 Zkušební úsek

Zkušební úsek představuje dvě přímé trubky, které mají totožnou jmenovitou světlost trubek jako zkušební vzorek (viz tab. 2). Pro jmenovité světlosti do DN 250 a jmenovitého tlaku do PN 100 platí, že vnitřní průměr připojené trubky musí být v rozmezí mezní úchylky  $\pm 2\%$  vnitřního průměru zkoušeného vzorku. V případě vyššího tlaku a většího průměru si musí vnitřní průměry odpovídat. Aby nebyl narušen průtok, musí být vnitřní průměr čistý a nesmí obsahovat žádné překážky jako např. rez [6].



$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$
dvakrát jmenovitá světlost trubky	šestkrát jmenovitá světlost trubky	osmnáctkrát jmenovitá světlost trubky minimální	jedenkrát jmenovitá světlost trubky minimální
<p style="text-align: center;">Standardní uspořádání zkušebního úseku</p>			
<p>POZNÁMKA 1 - Usměrňovače proudu mohou být použity tam, kde je to účelné. Jestliže jsou užity, délka <math>l_3</math> může být redukována na nejméně osminásobek jmenovité světlosti.</p> <p>POZNÁMKA 2 - Umístění tlakových odběrů je ve vstupním a výstupním proudu zkušebního vzorku jako celku. Zkušební vzorek může být samostatná regulační armatura nebo regulační armatura v jakékoliv kombinaci s připojenými přídavnými zařízeními (viz příloha A)</p> <p>POZNÁMKA 3 - Jestliže se zdroj porušení proudu na vstupu skládá ze dvou ohybů v různých rovinách za sebou, rozměr <math>l_3</math> musí být větší, než osmnáctinásobek jmenovité světlosti potrubí, pokud nejsou použity usměrňovače proudu.</p>			

tab. 2 Požadavky na potrubí zkušebního úseku [6]

### 1.5.3 Nastavovací armatury

Nastavovací armatura na vstupu slouží pro nastavení vstupního tlaku. Nastavovací armatura na výstupu se používá k nastavení tlaku během zkoušky. Dohromady pracují na udržení požadovaného výstupního tlaku a pro nastavování tlakového spádu. Nastavovací armatury nemají žádné omezení, avšak poloha nastavovací armatury nesmí ovlivnit přesnost měření. Umístění nastavovací armatury v experimentálním zařízení viz obr. 2 [6]. Měření kulových kohoutů se prováděla podle normy ČSN EN 60534-2-3, ale experimentální zařízení neumožňovalo vložení nastavovací armatury.

### 1.5.4 Měření průtoku

Zařízení na měření průtoku jsou umísťována před nebo za zkušební úsek. Prakticky je jedno, jakého je druhu, pokud splňuje předepsanou přesnost. Nicméně musí být cejchována, jestliže požadujeme určitou přesnost. Umístění zařízení na měření průtoku v experimentálním zařízení viz obr. 2 [6].

### 1.5.5 Tlakové odběry

Tlakové odběry musí být situovány v souladu s požadavky v tabulce tab. 2. Abychom dosáhli potřebné přesnosti, můžeme použít více tlakových odběrů. Otvory tlakových odběrů musí mít kruhový průřez a hrana otvoru musí být ostrá a čistá. V žádném případě nesmí mít otřepy, jehly a žádná část nesmí zasahovat dovnitř trubky. Tlakové odběry musí být z důvodu minimalizace hromadění nečistot umístěny vodorovně nebo svisle nad trubicí a musí být s osou trubky v pravém úhlu. Umístění tlakových odběrů v experimentálním zařízení viz obr. 2 [6].

### 1.5.6 Montáž zkušební vzorku

Orientace zkušební vzorku musí být taková, aby nevyvolala extrémní hodnoty rychlosti v oblasti tlakových odběrů. Těsnění zkušební úseku musí mít správnou velikost, být pořádně usazené a nesmí zasahovat do vnitřního průměru. Osa potrubí zkušební úseku a osy vstupního a výstupního konce zkušební vzorku se musí pohybovat v mezích podle tabulky tab. 3 [6].

Jmenovitá světlost trubky	Dovolená nesouosost
DN 15 až DN 25	0,8 mm
DN 32 až DN 150	1,6 mm
DN 200 a větší	0,01 jmenovité světlosti trubky

tab. 3 Dovolená nesouosost potrubí u zkušební vzorku [6]

### 1.5.7 Zkušební tekutiny

Pro nestlačitelné tekutiny je proudícím médiem voda. Voda proudí v rozmezí teplot od 5°C do 40°C. Látky, které zabraňují korozi, se mohou použít v případě, pokud neovlivní výsledky zkoušky. U stlačitelných médií se jako hlavní zkušební látka používá vzduch nebo jiná stlačitelná média, ovšem nasycené páry jsou zakázány [6].

## 2. Přehled měřidel pro vzduch

### 2.1 Měření tlaku

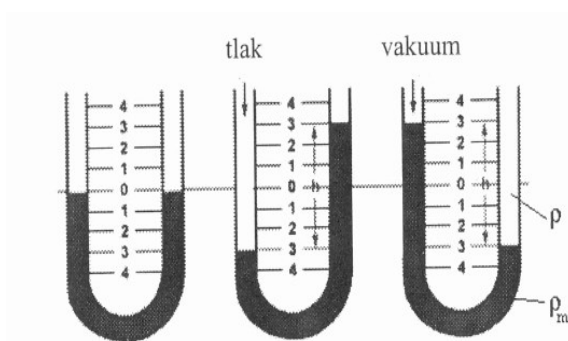
Těchto měřidel je velký počet. Rozdělujeme je na statická a dynamická. U statických měřidel se nejčastěji používají hydrostatické, deformační a se silovým účinkem. U dynamických změn tlaku se používají elektrická měřidla [1].

#### 2.1.1 Hydrostatická měřidla

Pracují na principu změny měřicího tlaku na měřicí délku. Pro tento převod je důležitá hustota měřicí kapaliny. Výhodou je velká přesnost.

Patří sem:

U-trubice - jedna z nejjednodušších forem manometru (viz obr. 3). Při stejném tlaku jsou výšky hladin totožné. Je-li z jedné strany vyšší tlak nebo vakuum, výšky hladin se různí. U-trubice se často používají pro měření tlakové difference.



obr. 3 U-trubice při různých použití[1]



obr. 4 U trubice na měřeném tunelu

Nádobkový tlakoměr - je to obdobný způsob jako u U-trubice, jen je na jednom rameni objemná nádoba.

Tlakoměry se sklopnou trubicí - jsou více přesnější. Stupnice mohou mít různé tvary. Je-li rameno polohovatelné pro určité měření, musí se přepočítat změřená hodnota  $h$  [1].

#### 2.1.2 Deformační měřidla

Tyto přístroje pracují na principu deformačního členu. Měřený tlak se převádí na deformační člen, který se po ukončení měření vrací do původního stavu. Nejčastěji používané jsou Burdonova trubice, membránové a vlnovkové tlakoměry [1].

### 2.1.3 Měřidla se silovým účinkem

Měřený tlak se převádí na měření síly. Tyto tlakoměry jsou velice přesné a většinou se používají pro cejchování ostatních manometrů pro vyšší tlak. Patří zde pístový a zvonový tlakoměr [1].

### 2.1.4 Elektrické tlakoměry

Pracují na principu tlakové závislosti na elektrických veličinách. Patří do moderní techniky jako například piezoelektrické snímače, kapacitní snímače a snímače s odporovými tenzometry [1].

## 2.2 Měření místní rychlosti

### 2.2.1 Pitotova trubice

Podstatou měření Pitotovy trubice spočívá ve dvou malých trubičkách, přičemž jedna trubice je zahnutá kolmo proti směru proudění potrubí a druhá trubice je připojena ke stěně potrubí. Při měření se může trubice vychýlit  $\pm 6^\circ$  a nemá vliv na měření [9].

Dle obr. 5. statický tlak  $p_s$  v piezometrické trubici připojené ke stěně potrubí vystoupá do výšky  $h_1$ . V Pitotově trubici se zvýší hladina do výšky  $h_2$ , která je závislá na tlaku v potrubí a rychlosti proudící kapaliny. Dynamický tlak je rozdíl celkového tlaku a statického tlaku ( $p_d = p_c - p_s$ ).

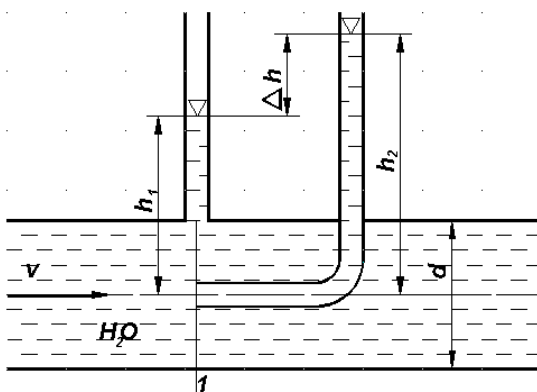
Rovnice pro rychlost média v piezometrické trubici.

$$v = \sqrt{2 \frac{p_c - p_s}{\rho}} = \sqrt{2 \frac{p_d}{\rho}} = \sqrt{2g\Delta h} \quad (18)$$

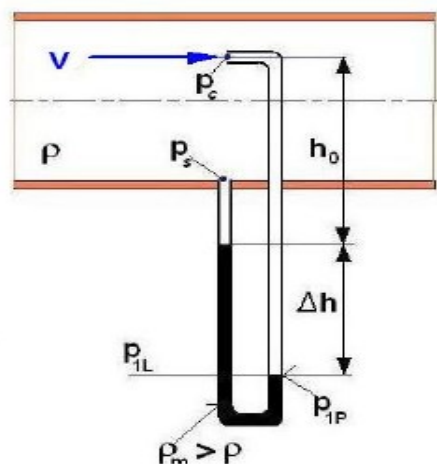
Rovnice pro rychlost média v U-trubici se rtutí.

$$v = \sqrt{\frac{2p_d}{\rho}} = \sqrt{2g\Delta h \frac{\rho_m - \rho}{\rho}} \quad (19)$$

Pro měření s vyšším přetlakem se používá U-trubice, která měří s kapalinou, jež má hustotu daleko větší, než má hustota měřeného média (viz obr. 6).



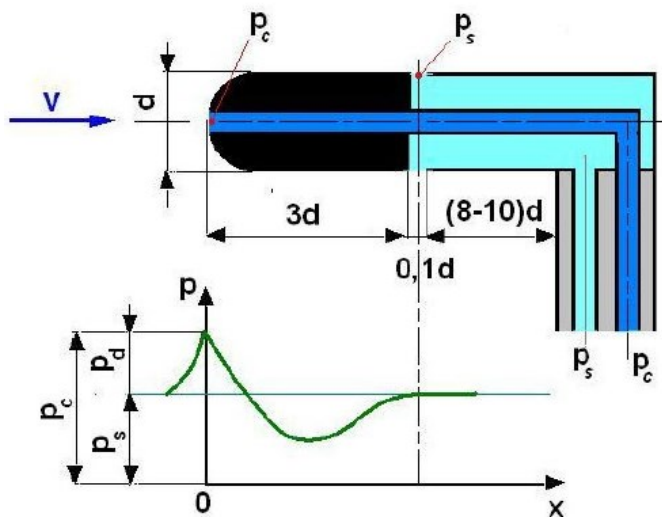
obr. 5 Pitotova trubice –  
piezometrické trubice [16]



obr. 6 Pitotova trubice – U  
trubice se rtutí [16]

### 2.2.2 Prandtlůva trubice

Tělo Prandtlůvy trubice má válcovitý tvar. Tato trubice má výhodu, že může měřit celkový i statický tlak. Na středu trubice je otvor pro odběr celkového tlaku. Na obvodu trubice je štěrbin, která snímá statický tlak (obr. 7). Odběr statického tlaku je vzdálen tři průměry trubice od odběru celkového tlaku, aby nemohlo být měření zkreslené. Prandtlůva trubice může být vychýlená do  $\pm 15^\circ$ . Výpočet rychlosti je stejný jako u Pitotovy trubice [1].



obr. 7 Prandtlůva trubice [16]

### 2.2.3 Žárový anemometr

Žárový anemometr se používá pro měření turbulentního proudění v aerodynamickém tunelu. Je to velmi přesné měření rychlosti. Turbulentní proudění má kromě hlavního pohybu také relativní pohyb. V daném bodě mají částice hlavní rychlost plus vlastní pulsační rychlost. Okamžitá rychlost se spočte přes vektorový součet těchto rychlostí. Toto měření spočívá z elektricky ohřívaného drátku umístěného do proudícího potrubí (obr. 8). Drátek odvádí teplo, které ovlivní napětí, z kterého získáme rychlost média. Rozžhavený drátek má rozměry cca o průměru 2-10  $\mu\text{m}$  a délku 1 mm. Je vyroben z wolframu, platiny nebo tungsténu pro teploty 300°C. Drátkové sondy se používají hlavně pro měření turbulentních rychlostí [16].



obr. 8 Detail: 1. Prandtlova trubice, 2. Žárový anemometr v trubce

## 2.3 Měření střední rychlosti

Střední rychlost určíme mezi dvěma průřezy, kde jeden z průřezů je zúžený. Výpočet je určen pomocí rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice. Tohoto principu využívá Venturiho trubice nebo clona a dýza. V zúženém místě se zvýší rychlost a klesne statický tlak.



### 2.3.1 Venturiho trubice

Venturiho trubice je sestavena z konfuzoru, který má válcovitý tvar se zúženým průřezem, a z delšího difuzoru. Zúžené místo zapříčiní růst rychlosti a dynamického tlaku a naopak klesne statický tlak. Střední rychlost se spočítá pomocí Bernoulliho rovnice, viz [9].

### 2.3.2 Clona a dýza

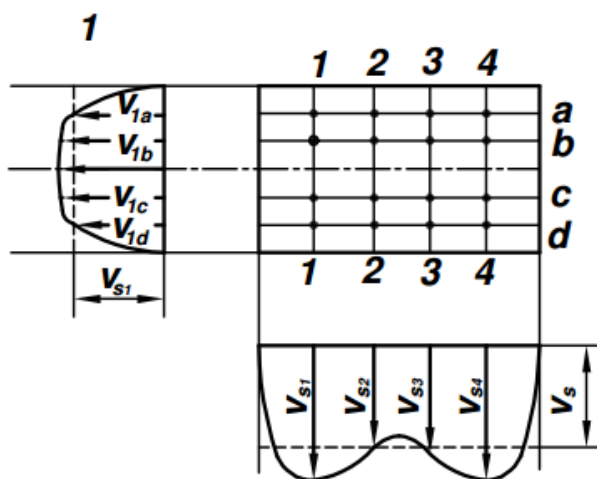
Clona je v podstatě plát, ve kterém je menší otvor, než je průměr potrubí. V místě, kde je vložena clona, se rychlost průtoku zvýší a statický tlak sníží. Shodně je tomu u dýzy, viz [9].

### 2.3.3 Výpočet střední rychlosti z místních rychlostí

Při měření rychlosti v potrubí je rychlost po obvodu stěny potrubí prakticky nulová a ve středu je nejvyšší (viz obr. 9). Tedy čím více se přibližujeme k ose potrubí, tím více roste rychlost. Výpočet střední rychlosti se spočte:

$$v_s = \frac{1}{S} \int v dS \quad (20)$$

Počet bodů zvolených pro výpočet rychlosti v potrubí není přesně definovaný. Čím více bodů, tím přesnější profil rychlosti.



obr. 9 Určení střední rychlosti z rychlostního profilu [9]

### Laminární proudění v potrubí kruhového průřezu

Laminární proudění nastane za předpokladu  $Re \leq Re_{krit} = 2320$ , potrubí je vodorovné, proudění je ustálené a rychlostní profil je stabilní. Na proudící médium působí pouze tlakové síly a síly třecí (viz [9]). Z výpočtu maximální rychlosti a výpočtu střední rychlosti podle průtoku můžeme vztahy porovnat v poměru:

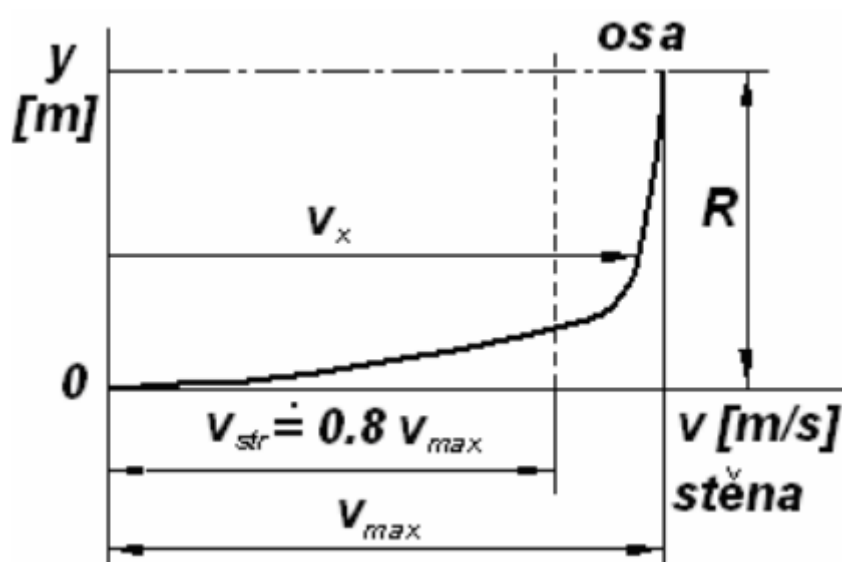
$$\frac{v_s}{v_{max}} = \frac{1}{2} \quad (21)$$

### Turbulentní proudění v potrubí kruhového průřezu

Druhým typem proudění je turbulentní proudění. U turbulentního proudění jsou charakteristické pulsace všech veličin (např. rychlost). Dochází k naprostému promíchávání objemu proudícího média, částice mají nepravidelné trajektorie, viz [9], [8]. U turbulentního proudění je poměr střední a maximální rychlosti  $m = \frac{v_s}{v_{max}} = \frac{2}{(n+2) \cdot (n+1)}$  a obecně platí,  $n$  je funkcí  $Re$  čísla  $n = f(Re)$ , takže:

- Pro hydraulicky hladké potrubí platí hodnoty pro rozsah  $[2320 \leq Re < 10^5]$   
 $n = 1/7 = 0,143 \Rightarrow m = 0,817$
- Pro rozsah  $[8 \cdot 10^4 < Re < 5 \cdot 10^6]$   $n = 1/8 = 0,125 \Rightarrow m = 0,837$
- A pro větší rychlosti v rozsahu  $[Re \geq 5 \cdot 10^6]$   $n = 1/10 = 0,1 \Rightarrow m = 0,866$

Střední rychlost se dá také odhadnout vztahem  $v_{str} \approx 0,8 \cdot v_{max}$ , viz graf 1.



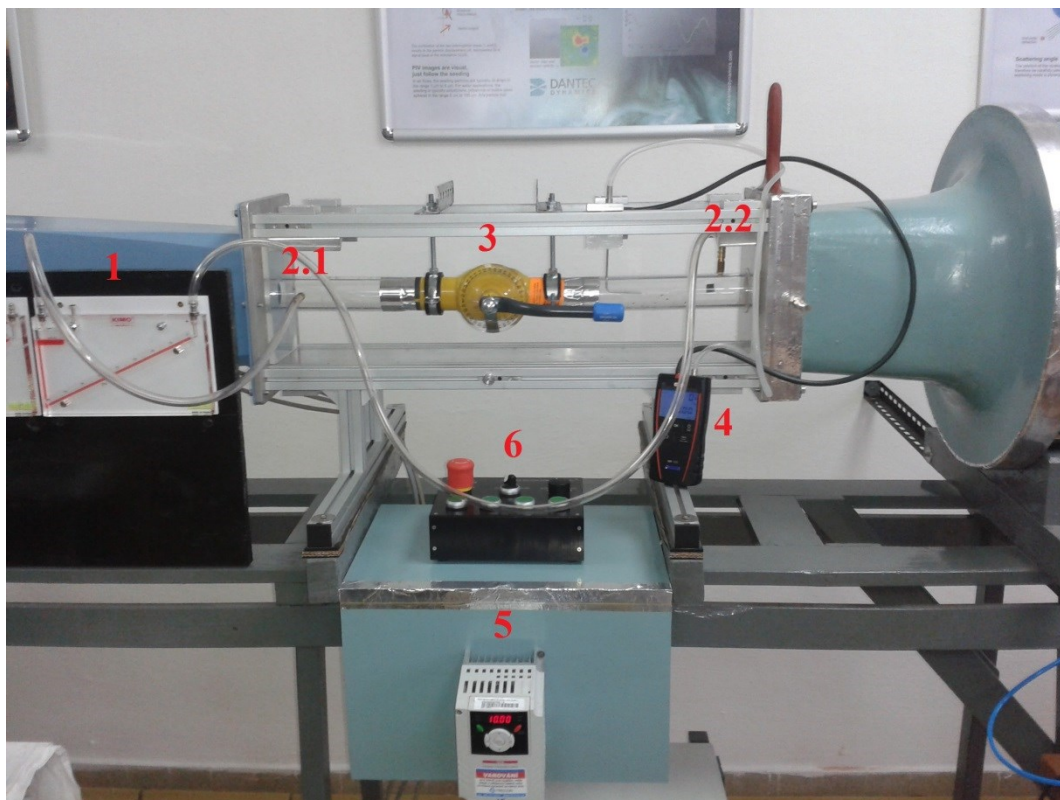
graf 1 Mocninný rychlostní profil v potrubí [9]

### 3. Aerodynamický tunel

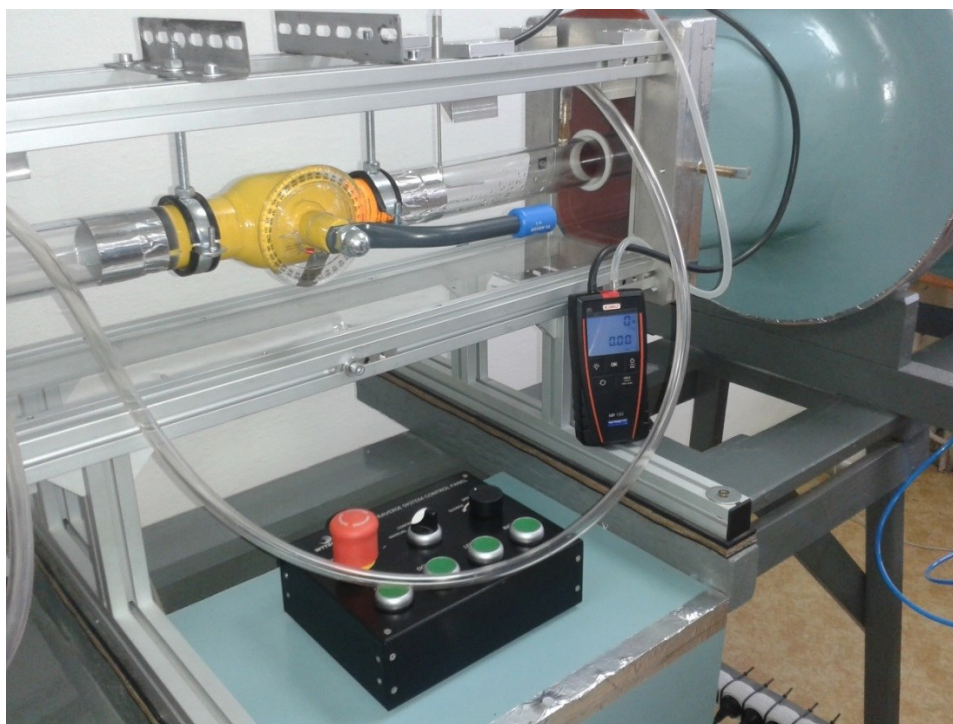
#### 3.1 Aerodynamické tunely

Leonardo da Vinci byl první, kdo se zabýval prouděním tekutin. Dále jeho studium rozšířil sir Isaac Newton. Z těchto poznatků a mnoho dalších mohl být postaven první aerodynamický tunel. V roce 1871 byl jeho autorem Francis Wenham, který postavil aerodynamický tunel v Anglii ve městě Greenwich. Tento tunel představoval dřevěnou krabici, na jejímž konci byl parou poháněný ventilátor. Prakticky další postavené tunely měly rysy Wenhamova tunelu. Zkoušky v aerodynamickém tunelu byly mnohem levnější než testování modelů skutečné velikosti. Při stavbě prvního letounu bratrů Wrightových se Wrightovi spoléhali na údaje získané z aerodynamického tunelu v roce 1903. To byl první úspěch aerodynamického tunelu v letectví. Poté Max M. Munk, německý NASA aerodynamik, spolu s týmem v Langley v roce 1921 postavil a navrhl unikátní, revoluční experimentální tunel, který posunul letectví o třídu výš. Dále se tunely vylepšovaly, zvyšovaly se výkony motorů (proudění), přidávaly se různé přístroje, vylepšovaly se materiály do podoby, v které je známe dnes [11].

Měření charakteristik kulových kohoutů bylo prováděno na inovovaném aerodynamickém tunelu, který patří Katedře hydromechaniky a hydraulických zařízení a je zobrazen na obrázku obr. 10. Na obrázku obr. 11 je detail s měřicí sekci a kohoutem, na kterém byly měřeny charakteristiky kohoutů.



obr. 10 Popis měřicího zařízení: 1.U-trubice, 2.1. a 2.2. Sběrná místa tlaku, 3. Měřený kulový kohout, 4. Prandtlůva trubice + Manometr KIMO MP120 s výpočtem rychlosti proudění, 5. Frekvenční měnič, 6. Ruční krokovací zařízení



obr. 11 Detail experimentálního zařízení s kulovým kohoutem

Na aerodynamickém tunelu bylo provedeno měření charakteristik kulových kohoutů. Pro měření rychlosti je možno použít sondu žárového anemometru (pro případ měření turbulencí) nebo Prandtlovou trubici pro získání středních hodnot rychlosti. Metodika principu měření žárovým anemometrem je popsána v literatuře (viz [16] [13]) a byla použita pro získání základních parametrů tunelu.

Měření probíhalo v následujících etapách:

- Kalibrace sondy
- Měření parametrů tunelu
- Měření charakteristik kulových kohoutů

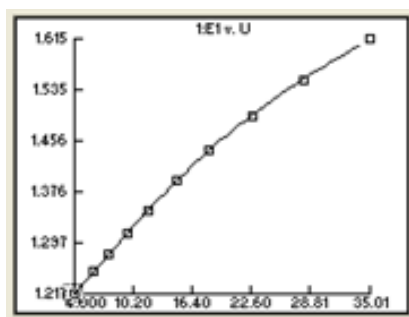
Pro naše účely bylo pro měření charakteristik kohoutu postačující použití Prandtlovy trubice.

### **3.2 Kalibrace sondy**

Kalibrací byla nalezena závislost mezi napětím na drátku žárového anemometru a rychlostí pomocí Prandtlovy trubice. Kalibrace sondy žárového anemometru se prováděla pomocí kalibračního tunelu (obr. 12), Prandtlovy trubice a vyhodnocovala se s využitím MiniCTA. V programu se nastavily minimální a maximální rychlosti proudu vzduchu a počet měřených bodů, v našem případě 10. Dále byla odečítána také teplota a tlak v měřicí místnosti, tyto veličiny se po celou dobu měření neměnily. Rychlost vzduchu byla regulována otáčkami ventilátoru. Tlak na Prandtlově trubici byl měřen kapalinovým manometrem se sklopným ramenem. Výsledky měření byly zapisovány do Excelu a následně vyhodnocovány. Kalibrace sondy se také může provádět přímo v měřicím tunelu. Průběh kalibrace by měl vypadat jako na graf 2 (viz [16] [13]).



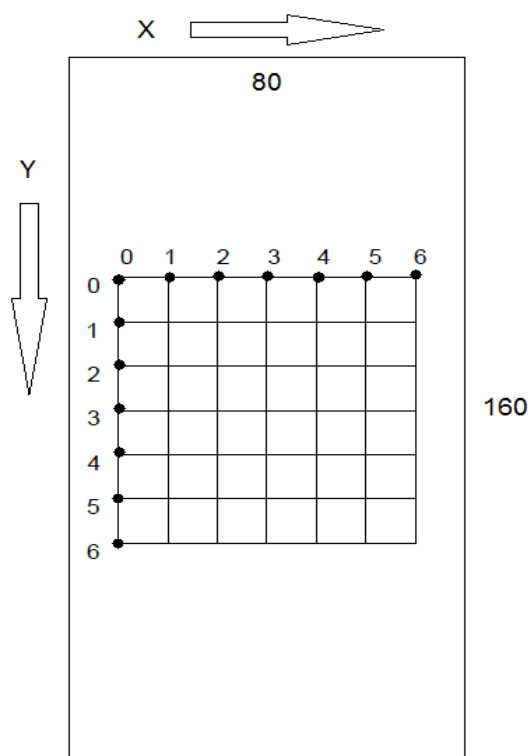
obr. 12 Kalibrace sondy na menším tunelu: 1. Kapalinový manometr, 2. Regulátor intenzity proudění, 3. Umístění sondy



graf 2 Křivka výsledné kalibrace

### 3.3 Měření parametrů tunelů

Postup měření byl následující. Byla vytvořena síť bodů v průřezu aerodynamického tunelu, která byla potřebná k měření. Síť bodů byla redukována podle největší světlosti potrubí. V těchto bodech byla změřena a vypočtena střední rychlost a intenzita turbulence pro zadané frekvence (tj. průtoky). Na obr. 13 je znázorněn průřez tunelu, který byl obdélníkového tvaru 80 x 160 mm. K měření byl použit žárový anemometr MiniCTA. Vyhodnocení střední rychlosti (tab. 4, graf 3) a intenzity turbulence (tab. 5, graf 3) pro 20 Hz je uvedeno níže, další frekvence jsou uvedeny v příloze společně s vyhodnocením střední rychlosti a intenzity turbulence v prázdném potrubí, viz příloha A, příloha B.



obr. 13 Schéma vytvořené sítě v tunelu

Vyhodnocení střední rychlosti a intenzity turbulence pro 20 Hz.

**Střední rychlost [m/s] pro 20Hz**

[x,y]	0	1	2	3	4	5	6
0	14,747	14,89	14,729	14,713	14,638	14,97	14,547
1	14,911	14,758	14,961	14,74	14,91	14,968	14,664
2	14,939	14,943	14,921	14,928	14,97	15,021	15,183
3	14,905	14,817	14,862	14,909	15,252	15,206	15,223
4	14,688	14,812	14,972	14,824	15,136	14,921	15,285
5	14,934	14,952	14,892	14,951	14,86	15,148	15,133
6	14,83	15,086	15,012	15,307	15,137	15,137	15,305

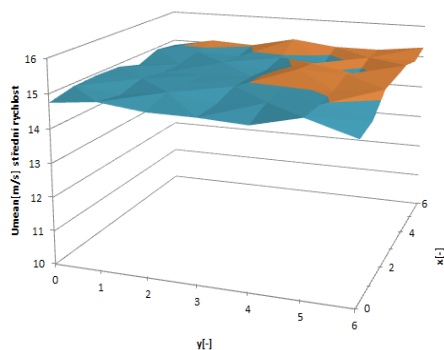
tab. 4 Střední rychlost v prázdném tunelu

**Intenzita turbulence [%] pro 20 Hz**

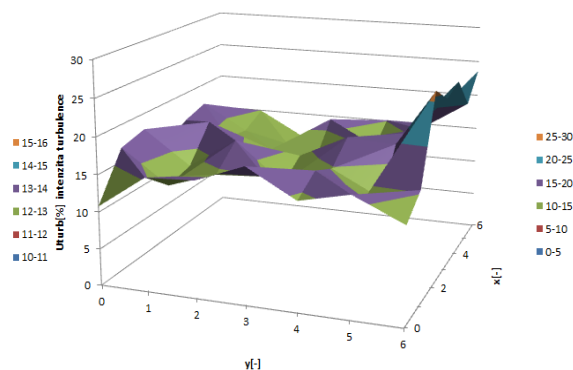
[x,y]	0	1	2	3	4	5	6
0	10,789	15,326	15,638	18,132	14,472	15,973	12,953
1	16,882	12,37	14,519	14,939	16,42	14,009	15,304
2	17,791	13,22	17,396	12,145	14,843	11,465	26,247
3	14,021	17,848	14,022	14,206	17,421	17,074	23,788
4	15,948	13,882	12,72	11,906	15,636	16,977	24,742
5	16,968	13,354	11,827	16,238	12,424	15,913	20,197
6	11,807	14,92	11,418	13,73	15,106	15,106	23,59

tab. 5 Intenzita turbulence v prázdném tunelu





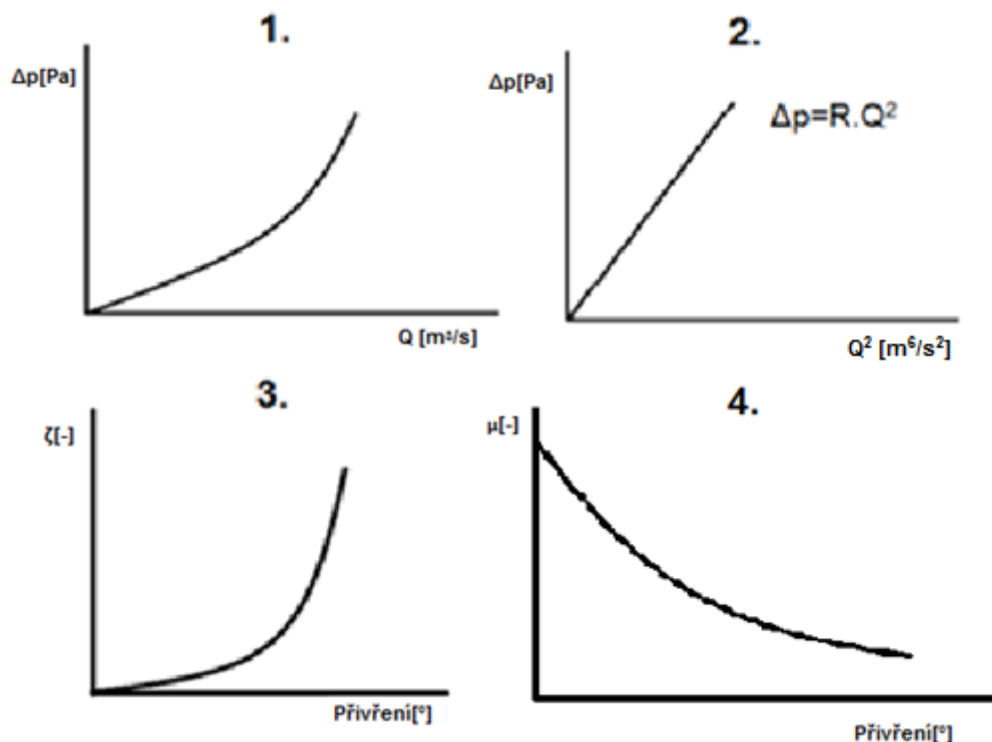
graf 3 Střední rychlost pro 20 Hz



graf 4 Intenzita turbulence pro 20 Hz

### 3.4 Měření charakteristik kohoutů

V aerodynamickém tunelu byla měřena charakteristika kulových kohoutů, což je závislost tlakového spádu na průtoku při různých přivření. Průtok se měnil pomocí frekvenčního měniče otáček ventilátoru. Tlakový spád byl měřen na U-trubici, viz obr. 4, a rychlost Prandtlovou sondou ve středu potrubí. Maximální rychlost byla přepočítána na střední rychlost koeficientem 0,8 (graf 1) a následně na průtok, viz [9]. Byla vytvořena série grafů dle obr. 14, tj.  $\Delta p = f(Q)$  charakteristika, další úpravou na charakteristiku  $\Delta p = f(Q^2)$  se určil ztrátový součinitel, následně byl vyhodnocen graf závislosti ztrátového součinitele na přivření a ze ztrátového součinitele byl vyhodnocen graf průtokového součinitele na přivření.

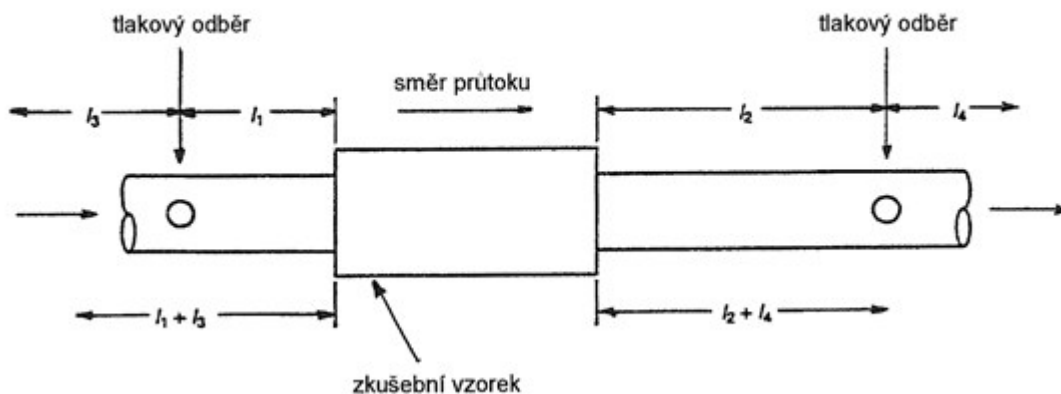


obr. 14 Ukázka naměřených grafů – 1. Tlaková ztráta, 2. Charakteristika  $\Delta p = f(Q^2)$ , 3. Závislost ztrátového součinitele na přivření, 4. Závislost průtokového součinitele na přivření

## 4. Měření vybraných armatur

### 4.1 Popis měření

Byl měřen průtok a tlakový spád na kulových kohoutech DN 40, DN 25 a DN 20 podle obr. 15, přičemž průtok byl regulován změnou otáček na ventilátoru (otáčky se měnily frekvenčním měničem pro frekvence od 10 do 50 Hz po 5 Hz). Bakalářská práce navazuje na již provedené měření kulových kohoutů dle Ing. Dobeše (viz [7]). Kulové kohouty byly postupně uzavírané po 20° až do přivření 60°. Dále se již nedalo měřit, z důvodu nulové rychlosti. Pro kohout DN 25 byly použité trubice světlosti 24. Zkušební úsek je znázorněn podle normy viz tab. 2. Vzdálenosti zkušebního úseku v experimentálním zařízení jsou naměřeny v tab. 6.



obr. 15 Schéma zkušebního úseku [6]

	$l_1 (2 \cdot D)$	$l_2 (6 \cdot D)$	$l_3 (18 \cdot D)$	$l_4 (11 \cdot D)$	Délka zkušební vzorku	Délka zkušební trati
<b>DN 20</b>	225	180	15	30	230	680
<b>DN 25</b>	160	200	50	40	230	680
<b>DN 40</b>	150	190	40	40	260	680

tab. 6 Naměřené vzdálenosti na zkušební trati

V porovnání s teorií normy se hodnoty výrazně liší. Aerodynamický tunel je konstruován tak, aby v měřící sekci došlo k ustálení proudu.

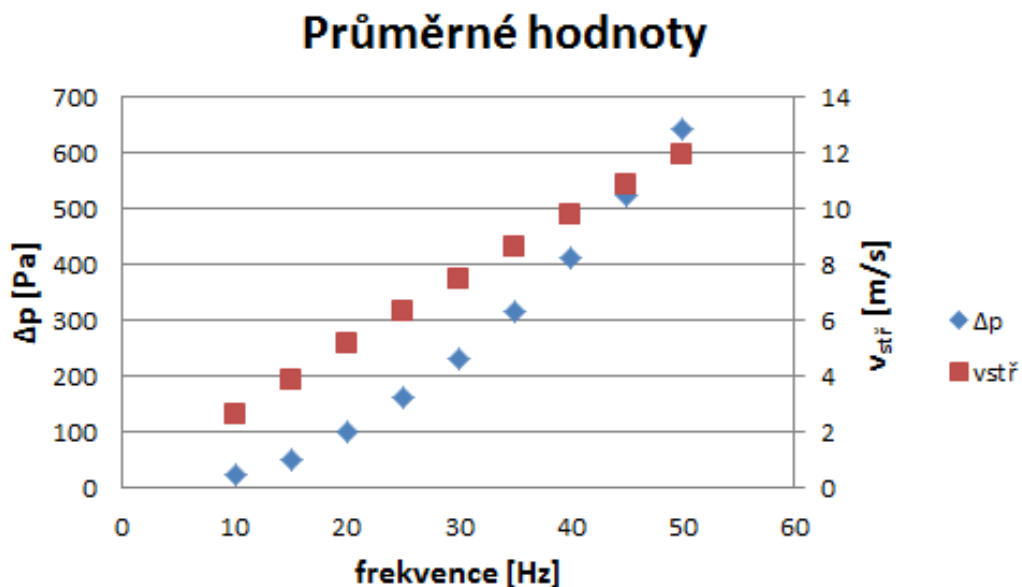
## 4.2 Vyhodnocení nejistoty měření

Pro určení nejistoty měření byla testována armatura DN 40 při plném otevření. Pro různé frekvence byl 10 krát změřen průtok a tlakový spád, byla vyhodnocena střední hodnota a směrodatná odchylka a variační koeficient. Ukázku vyhodnocování pro frekvenci 10 Hz vidíme v tab. 7. Ostatní frekvence společně s naměřenými vypočtenými hodnotami jsou umístěny v příloze C.

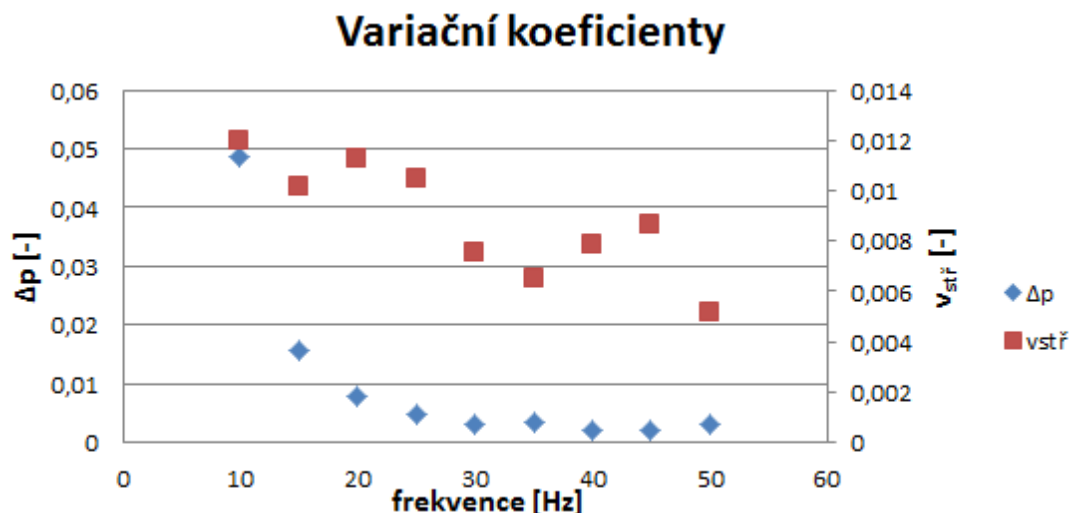
frekvence=10Hz				S=	0,0013	[m <sup>2</sup> ]	
n	v	Δp	odchylka rychlosti	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	odchylka tlaku
[-]	[m/s]	[Pa]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[%]
1	3,2	22	0,019908116	2,56	0,0032	1,035E-05	0,009009009
2	3,3	22	0,010719755	2,64	0,0033	1,101E-05	0,009009009
3	3,25	25	0,004594181	2,6	0,0033	1,067E-05	0,126126126
4	3,3	22	0,010719755	2,64	0,0033	1,101E-05	0,009009009
5	3,2	21	0,019908116	2,56	0,0032	1,035E-05	0,054054054
6	3,3	21	0,010719755	2,64	0,0033	1,101E-05	0,054054054
7	3,25	22	0,004594181	2,6	0,0033	1,067E-05	0,009009009
8	3,3	22	0,010719755	2,64	0,0033	1,101E-05	0,009009009
9	3,3	22	0,010719755	2,64	0,0033	1,101E-05	0,009009009
10	3,25	23	0,004594181	2,6	0,0033	1,067E-05	0,036036036
průměrné hodnoty	3,265	22,2	0,010719755	2,612	0,0033	1,078E-05	0,032432432
směrodatné odchylky	0,03905	1,077	0,005304903	0,03124	4E-05	2,568E-07	0,036081053
variační koeficient	0,01196	0,0485	0,494871659	0,01196	0,012	0,0238351	1,112499133

tab. 7 Vyhodnocení nejistot měření

Další průměrné hodnoty a variační koeficienty jsou umístěny v graf 5 a graf 6.



graf 5 Výsledný graf průměrných hodnot tlaku a střední rychlosti v závislosti na frekvenci



graf 6 Výsledný graf variačních koeficientů tlaku a střední rychlosti  
na frekvenci

Variační koeficienty jsou dosti malé, tzn. další měření byla prováděna pouze jednou. Není třeba dělat pro každou hodnotu 10 měření.

### 4.3 Výsledné charakteristiky kulových kohoutů

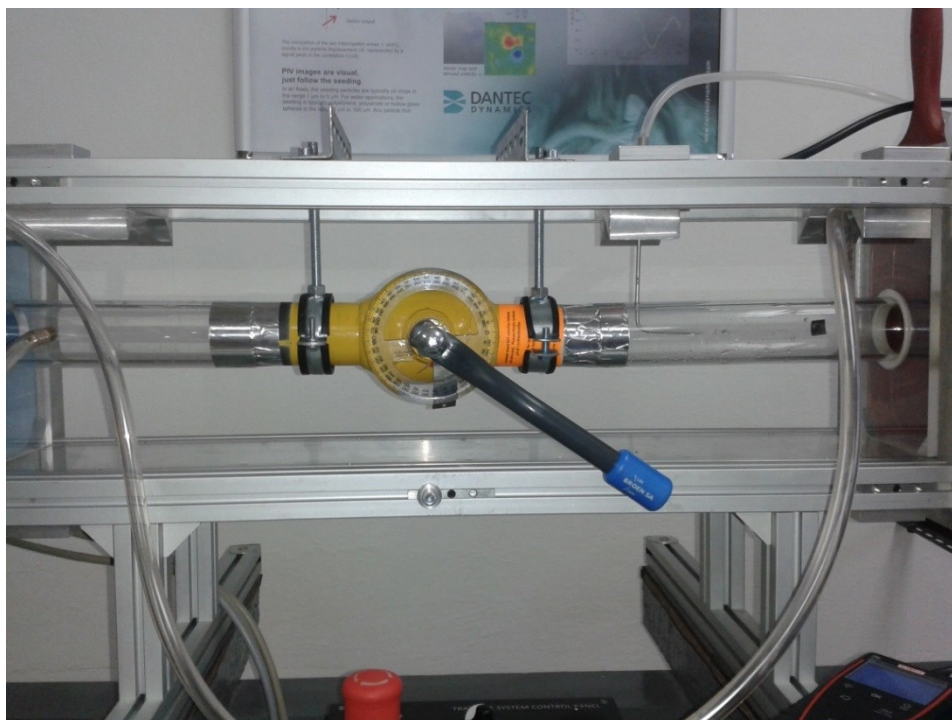
Byly měřeny charakteristiky kulových kohoutů DN 20 a DN 25, které jsou znázorněny na obr. 16, a také kulový kohout DN 40 na obr. 17. Na kulové kohouty byly připevněny objímky, z důvodu uchycení v experimentálním zařízení. Všechny světlosti kohoutu byly umístěny v aerodynamickém tunelu, stejně jako na obr. 18. Kohouty a trubice byly spojeny vzduchotěsnou hliníkovou páskou. V tab. 8 jsou pro kulový kohout DN 40 vyhodnoceny základní údaje: rychlost v ose potrubí  $v$ , střední rychlost  $v_{stř}$ , průtok  $Q$ ,  $Q^2$ , tlakový spád  $\Delta p$  a Reynoldsovo číslo  $Re$ . V tab. 9 jsou dopočítány hodnoty pro ztrátový součinitel a průtokový součinitel kulového kohoutu DN 40. Vyhodnocení těchto údajů pro kulové kohouty DN 20 a DN 25 jsou umístěny v příloze D. Na grafu graf 7 vidíme tlakovou ztrátu kulového kohoutu DN 40 pro přivření  $0^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $40^\circ$  a  $60^\circ$ . graf 8 zobrazuje závislost  $\Delta p$  na  $Q^2$  z důvodu určení odporového koeficientu  $R$  lineární regresí a následně ztrátového součinitele  $\zeta$ , se kterým se určil průtokový součinitel  $\mu$  dle kapitoly 1.4.1. Ztrátový součinitel. graf 9 představuje závislost ztrátového součinitele  $\zeta$  na přivření pro všechny světlosti kohoutů a taktéž graf 10 vykresluje průtokový součinitel  $\mu$  v závislosti na přivření.



obr. 16 Kulové kohouty DN 20 a DN 25 s objímkami na připevnění do experimentálního zařízení



obr. 17 Kulový kohout DN 40 s objímkami na připevnění do experimentálního zařízení



obr. 18 Kulový kohout DN 40 v měřeném experimentálním zařízení přivřený  
o  $40^\circ$

**Kulový kohout DN 40**

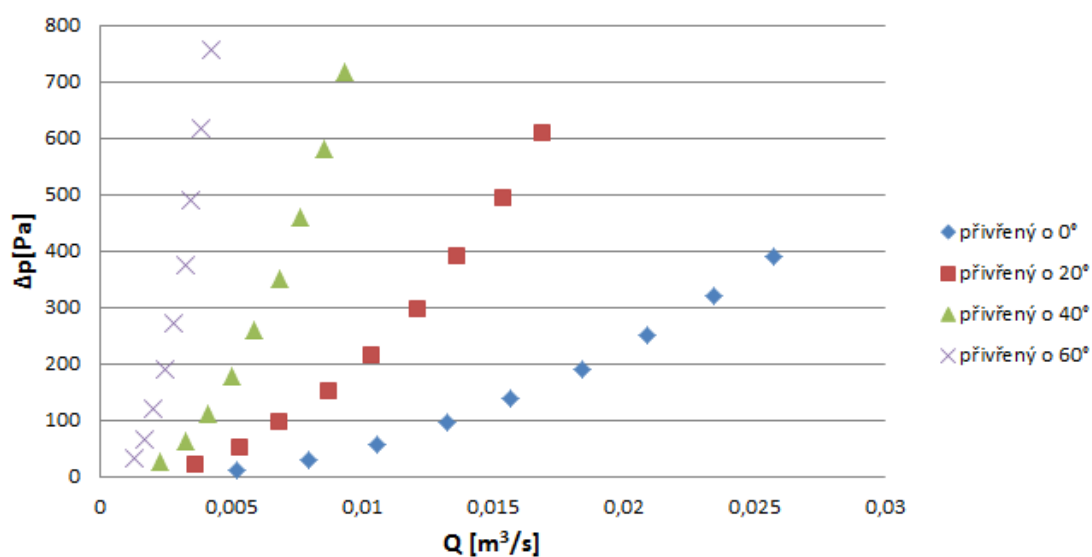
Průtočná plocha	S =	0,001257				
<b>frekvence=10Hz</b>	v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	5,2	4,16	0,005228	2,73279E-05	12	9788,235
přivřený o 20°	3,6	2,88	0,003619	1,3098E-05	21	6776,471
přivřený o 40°	2,23	1,784	0,002242	5,02585E-06	26	4197,647
přivřený o 60°	1,3	1,04	0,001307	1,70799E-06	31	2447,059
přivřený o 80°	rychlost je nulová		0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0
<b>frekvence=15Hz</b>	v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	7,9	6,32	0,007942	6,30745E-05	30	14870,59
přivřený o 20°	5,3	4,24	0,005328	2,83891E-05	51	9976,471
přivřený o 40°	3,2	2,56	0,003217	1,0349E-05	61	6023,529
přivřený o 60°	1,7	1,36	0,001709	2,92077E-06	65	3200
přivřený o 80°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0
<b>frekvence=20Hz</b>	v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	10,5	8,4	0,010556	0,000111424	55	19764,71
přivřený o 20°	6,8	5,44	0,006836	4,67323E-05	95	12800
přivřený o 40°	4,1	3,28	0,004122	1,6989E-05	112	7717,647
přivřený o 60°	2	1,6	0,002011	4,04259E-06	121	3764,706
přivřený o 80°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0
<b>frekvence=25Hz</b>	v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	13,2	10,56	0,01327	0,000176095	95	24847,06
přivřený o 20°	8,7	6,96	0,008746	7,64959E-05	150	16376,47
přivřený o 40°	5	4	0,005027	2,52662E-05	178	9411,765
přivřený o 60°	2,45	1,96	0,002463	6,06641E-06	189	4611,765
přivřený o 80°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0
<b>frekvence=30Hz</b>	v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	15,6	12,48	0,015683	0,000245951	138	29364,71
přivřený o 20°	10,3	8,24	0,010355	0,00010722	215	19388,24



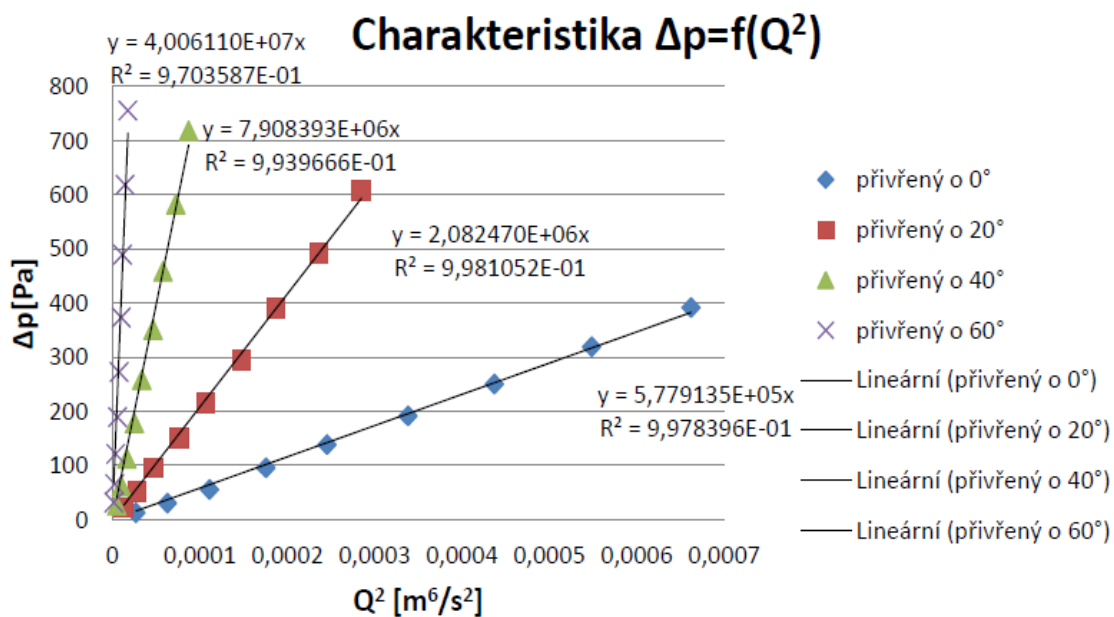
přivřený o 40°	5,8	4,64	0,005831	3,39982E-05	258	10917,65
přivřený o 60°	2,78	2,224	0,002795	7,81069E-06	272	5232,941
přivřený o 80°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0
<b>frekvence=35Hz</b>	<b>v</b>	<b>v<sub>stř</sub></b>	<b>Q</b>	<b>Q<sup>2</sup></b>	<b>Δp</b>	<b>Re</b>
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	18,3	14,64	0,018397	0,000338456	191	34447,06
přivřený o 20°	12,1	9,68	0,012164	0,000147969	295	22776,47
přivřený o 40°	6,8	5,44	0,006836	4,67323E-05	351	12800
přivřený o 60°	3,2	2,56	0,003217	1,0349E-05	373	6023,529
přivřený o 80°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0
<b>frekvence=40Hz</b>	<b>v</b>	<b>v<sub>stř</sub></b>	<b>Q</b>	<b>Q<sup>2</sup></b>	<b>Δp</b>	<b>Re</b>
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	20,8	16,64	0,02091	0,000437247	250	39152,94
přivřený o 20°	13,6	10,88	0,013672	0,000186929	390	25600
přivřený o 40°	7,6	6,08	0,00764	5,8375E-05	458	14305,88
přivřený o 60°	3,4	2,72	0,003418	1,16831E-05	489	6400
přivřený o 80°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0
<b>frekvence=45Hz</b>	<b>v</b>	<b>v<sub>stř</sub></b>	<b>Q</b>	<b>Q<sup>2</sup></b>	<b>Δp</b>	<b>Re</b>
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	23,3	18,64	0,023424	0,00054867	319	43858,82
přivřený o 20°	15,3	12,24	0,015381	0,000236582	492	28800
přivřený o 40°	8,5	6,8	0,008545	7,30193E-05	582	16000
přivřený o 60°	3,8	3,04	0,00382	1,45937E-05	618	7152,941
přivřený o 80°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0
<b>frekvence=50Hz</b>	<b>v</b>	<b>v<sub>stř</sub></b>	<b>Q</b>	<b>Q<sup>2</sup></b>	<b>Δp</b>	<b>Re</b>
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	25,6	20,48	0,025736	0,000662338	391	48188,24
přivřený o 20°	16,8	13,44	0,016889	0,000285245	608	31623,53
přivřený o 40°	9,3	7,44	0,009349	8,74109E-05	718	17505,88
přivřený o 60°	4,2	3,36	0,004222	1,78278E-05	755	7905,882
přivřený o 80°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0

tab. 8 Charakteristiky pro kulový kohout DN 40

### Tlaková ztráta kulového kohoutu DN40 $\Delta p = f(Q)$



graf 7 Tlaková ztráta v závislosti na průtoku kulového kohoutu DN 40 pro různá přivření

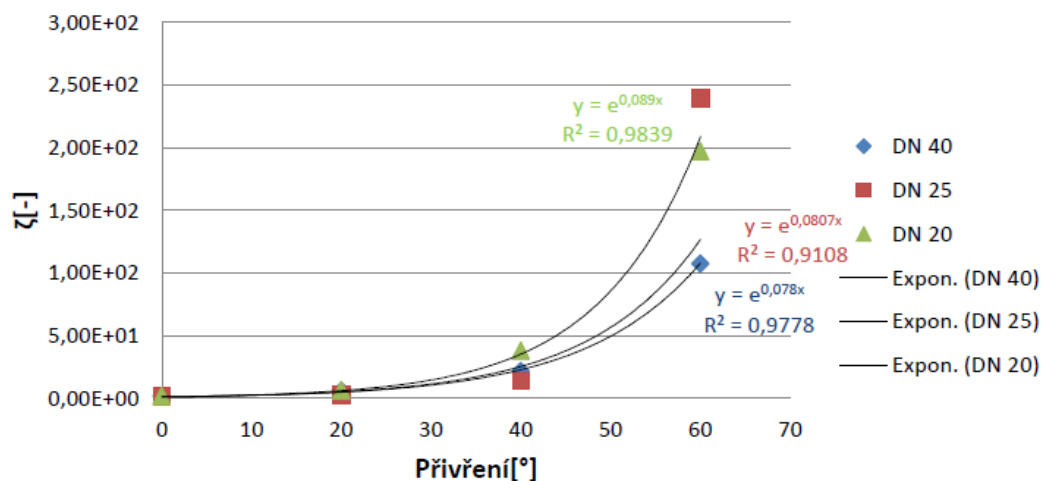


graf 8 Charakteristika  $\Delta p = f(Q^2)$

Přivření	R	$\zeta$	$\mu$
[°]	[kg/m <sup>5</sup> ]	[-]	[-]
0	5,78E+05	1,55E+00	8,04E-01
20	2,08E+06	5,57E+00	4,24E-01
40	7,91E+06	2,12E+01	2,17E-01
60	4,01E+07	1,07E+02	9,66E-02
80	0	0	0
90	0	0	0

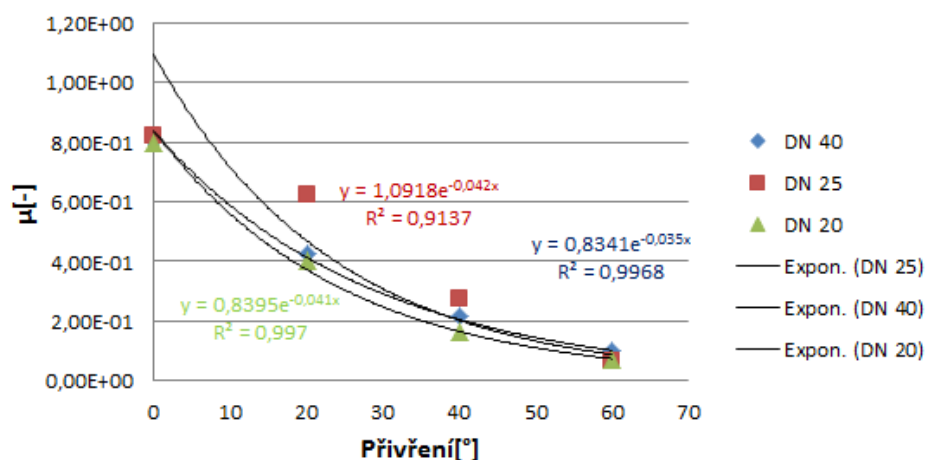
tab. 9 Doplnková tabulka pro charakteristiky kulového kohoutu DN 40

### Ztrátový součinitel v závislosti na přivření pro všechny průměry



graf 9 Ztrátový součinitel v závislosti na přivření

### Průtokový součinitel v závislosti na přivření pro všechny průměry



graf 10 Průtokový součinitel v závislosti na přivření

## 5. Závěr

Cílem bakalářské práce bylo zjistit charakteristiky plynových kulových kohoutů v experimentálním zařízení (aerodynamický tunel). Teoretická část bakalářské práce se zabývá samotnými kohouty a základními pojmy, které s touto prací souvisí např. nejistotou měření nebo ztrátovými a průtokovými součiniteli. Také obsahuje teorii o měření charakteristik armatur dle normy ČSN EN 60534-2-3, podle které bylo provedeno měření. Jsou zde zahrnuta základní měřidla pro vzduch. Obsahují měřidla tlaku, místní rychlosti a střední rychlosti s popisem laminárního a turbulentního proudění v potrubí kruhového průřezu.

Praktická část obsahuje popis experimentálního zařízení s kalibrací sondy a určení výsledných charakteristik měřených kulových kohoutů. Postup měření byl rozdělen do 3 úseků: kalibrace sondy, měření parametrů tunelů a měření charakteristik kulových kohoutů. Kalibrace sondy byla prováděna na menším aerodynamickém tunelu pomocí MiniCTA. Prázdný aerodynamický tunel byl proměřen pro střední rychlost a intenzitu turbulence. Byl porovnán zkušební úsek experimentálního zařízení s normou, která předepisuje přesné vytvoření zkušebního úseku. Byla provedena základní charakteristika plynových kulových kohoutů DN 40, DN 25 a DN 20 v aerodynamickém tunelu při frekvencích 10 až 50 Hz po 5 Hz.

Z měření jsem zjistil tlakovou ztrátu kohoutů, charakteristiku  $\Delta p = f(Q^2)$ , ztrátový součinitel  $\zeta$  a průtokový součinitel  $\mu$ . Z těchto základních údajů se dají spočítat další průtočné charakteristiky a průtokové součinitele  $A_v$ ,  $K_v$ ,  $C_v$ . Tyto základní parametry se dále používají pro simulaci proudění v hydraulických obvodech obsahujících tyto kohouty (např. v programu Matlab – SimHydraulics). Toto měření bylo provedeno při nižších  $Re$ . Další měření bych doporučil s výkonnějším kompresorem z důvodu zvýšení Reynoldsových čísel.

## 6. Seznam použité literatury

### Knihy:

- [1] BOJKO, Marian, Milada KOZUBKOVÁ a Jana RAUTOVÁ. *Základy hydromechaniky a zásobování hasiv*. 1. vyd. V Ostravě: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 2008. ISBN 978-80-7385-033-3.
- [2] Noskiewič, J. a kolektiv. *Kavitace v hydraulických strojích a zařízeních*. Vyd. 1. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1990. 333 s. ISBN 80-03-00206-0.
- [3] Noskiewič, J. *Kavitace* . 1. vyd. Praha : Academia, 1969. 278 s.
- [4] REKTORYS, Karel. *Přehled užití matematiky*. 2. opr. vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1968.
- [5] NOSKIEVIČ, Jaromír. *Mechanika tekutin*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [6] ČSN EN 60534-2-3 Regulační armatury pro průmyslové procesy – Část 2-3: Průtok – Zkušební postupy. Prosinec 1999.
- [7] DOBEŠ, J. *Vybudování laboratoře pro měření proudění v hydraulických prvcích metodou MiniCTA*. Vyd. 1. kat. 338 – VŠb - Technická univerzita Ostrava 2014.
- [8] ŠOB, František. *Hydromechanika* / Brno : Akademické nakladatelství CERM s.r.o., 2008. 238s. ISBN 80-214-2037-5
- [9] DRÁBKOVÁ, Sylva. *Mechanika tekutin* [online]. Vyd. 1. Ostrava: VŠB-TUO, 2007 [cit. 2016-04-10]. ISBN 978-80-248-1508-4.

### Elektronické zdroje:

- [10] ARMATURY Group [online]. 2011 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: [http://www.armaturygroup.cz/soubory/katalogovy-list/K95.DZT-G\\_privarovaci,zavitovy\\_CZ+EN\\_2011.pdf](http://www.armaturygroup.cz/soubory/katalogovy-list/K95.DZT-G_privarovaci,zavitovy_CZ+EN_2011.pdf)
- [11] NASA [online]. 2004 [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: <http://history.nasa.gov/SP-4305/ch3.htm>

- [12] TRIVAL [online]. 2004 [cit. 2016-04-04]. Dostupné z: [http://www.trival.cz/wp-content/uploads/zpravodaj\\_02.pdf](http://www.trival.cz/wp-content/uploads/zpravodaj_02.pdf)
- [13] Kundys J., Fabián P., Kozubková M. 2004 *MĚŘENÍ ŽÁROVÝM ANEMOMETREM* [online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: [http://www.338.vsb.cz/PDF/zarovy\\_anemometr.PDF](http://www.338.vsb.cz/PDF/zarovy_anemometr.PDF)
- [14] DOUBRAVA, J. A KOLEKTIV. *REGULAČNÍ ARMATURY 4. Upravené a doplněné vydání* [online]. [cit. 2016-04-03]. Dostupné z: [http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm\\_sbormik2006.pdf](http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esb1,125esbb/soubory/ldm_sbormik2006.pdf)
- [15] KOZUBKOVÁ, M.; KOLEKTIV. *Mechanika tekutin - návody pro laboratorní měření*. 1. vyd. Ostrava : VŠB–TU Ostrava, 2007. 113 s [cit. 2016-04-10]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/navod.pdf>
- [16] JANALÍK, J. *Měření turbulentních fluktuací rychlosti*. Ostrava : VŠB–TU Ostrava, 2006. [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.338.vsb.cz/PDF/Janalik-Mereniturflukrychlosti.pdf>

## 7. Seznam příloh

**Příloha A** - Střední rychlost a intenzita turbulence v aerodynamickém tunelu

**Příloha B** - Střední rychlost a intenzita turbulence v prázdném potrubí

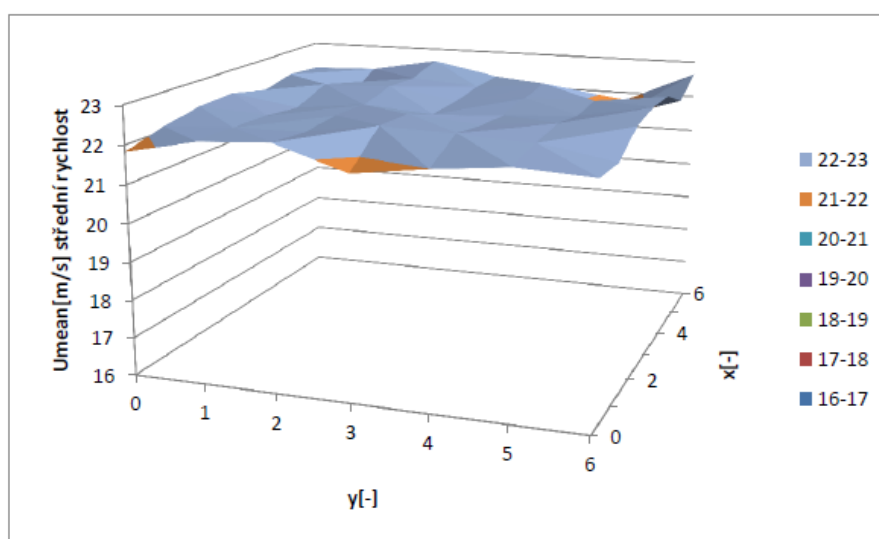
**Příloha C** - Ostatní frekvence pro vyhodnocení nejistoty měření

**Příloha D** - Charakteristiky kulových kohoutů DN 25 a DN 20

## Příloha A Střední rychlost a intenzita turbulence v aerodynamickém tunelu

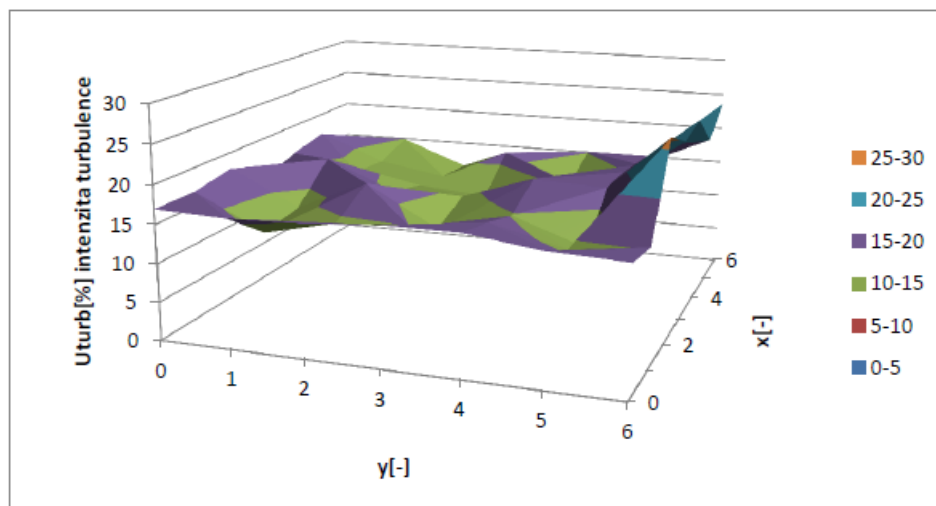
**Střední rychlost [m/s] pro 30Hz**

[x,y]	0	1	2	3	4	5	6
0	21,833	22,221	22,334	21,734	21,994	22,186	22,083
1	22,117	22,211	22,225	22,524	22,469	22,362	22,028
2	22,302	22,185	22,303	22,469	22,298	22,48	22,541
3	22,352	22,055	22,259	22,122	22,21	22,322	22,674
4	22,082	22,412	22,464	22,142	22,348	22,4	22,632
5	22,307	21,826	22,4	22,25	22,462	21,551	22,196
6	22,227	22,289	22,635	22,265	21,779	21,779	22,65



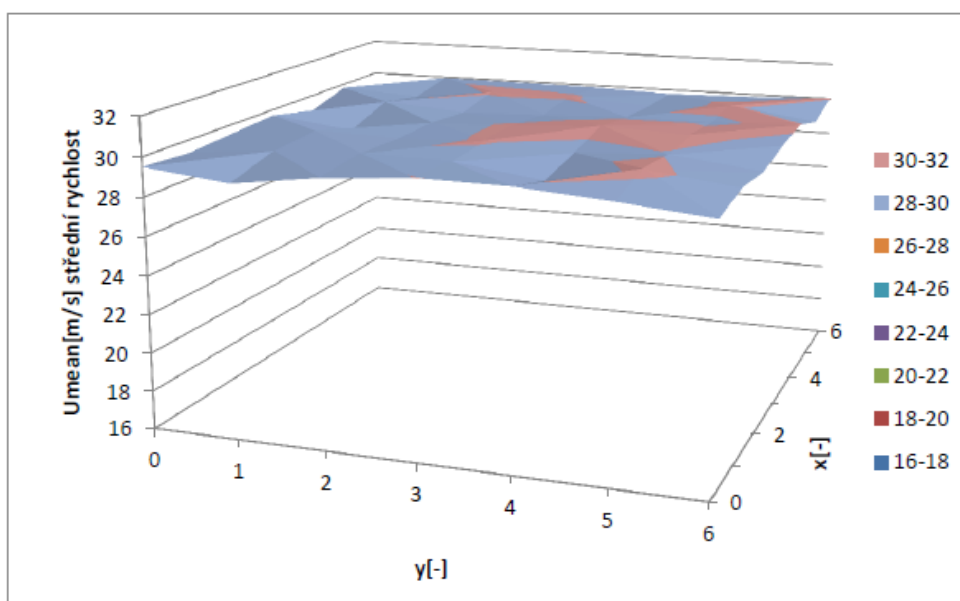
**Intenzita turbulence [%] pro 30 Hz**

[x,y]	0	1	2	3	4	5	6
0	16,951	16,654	16,946	17,705	17,71	16,525	16,178
1	16,573	16,807	16,311	14,436	16,703	16,014	18,473
2	14,91	17,65	16,288	17,964	17,233	15,97	17,535
3	17,29	18,69	17,351	17,127	17,319	16,464	17,615
4	17,26	16,815	18,087	17,546	17,747	16,728	17,969
5	15,75	16,297	17,262	15,136	15,141	17,34	17,399
6	17,127	18,085	15,769	16,831	18,145	18,145	16,329



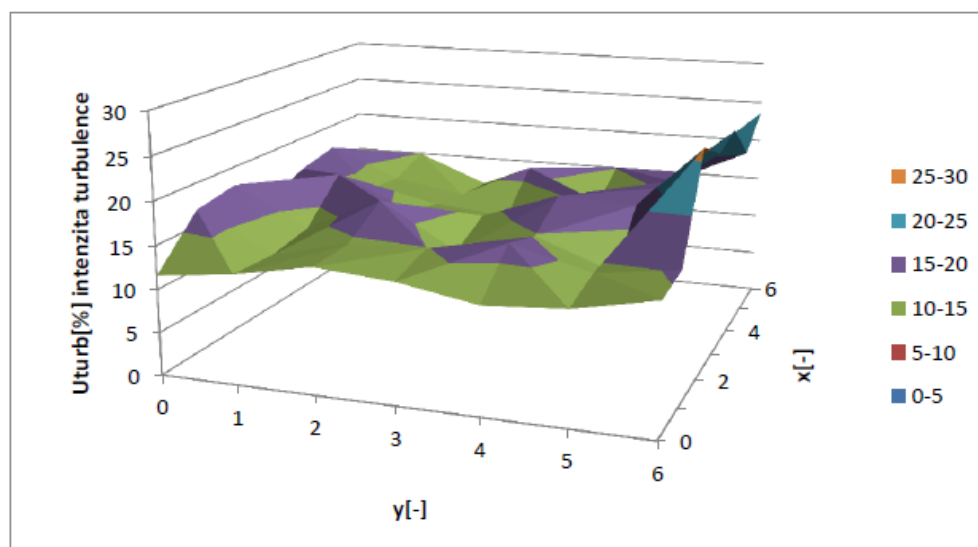
**Střední rychlost [m/s] pro 40Hz**

[x,y]	0	1	2	3	4	5	6
0	29,512	29,034	29,654	30,007	29,953	29,629	29,219
1	29,332	29,751	29,938	29,857	29,258	30,192	29,642
2	29,519	29,949	29,817	30,049	29,738	29,967	29,435
3	29,681	29,139	29,86	30,047	30,296	30,129	29,854
4	29,082	29,968	29,614	29,753	29,927	29,938	30,11
5	29,79	29,507	30,065	30,039	29,755	30,104	29,456
6	29,233	29,951	29,926	29,888	29,758	29,845	30,036



**Intenzita turbulence [%] pro 40 Hz**

[x,y]	0	1	2	3	4	5	6
0	11,577	12,675	14,409	13,733	12,178	12,789	14,706
1	13,112	15,206	13,481	13,834	14,012	12,3	13,426
2	14,635	13,296	12,821	11,823	13,751	14,037	13,161
3	13,201	13,846	14,899	13,567	12,671	14,82	13,777
4	14,528	14,112	14,716	13,542	13,532	12,459	12,472
5	15,133	14,802	12,997	14,149	15,229	13,456	15,621
6	14,936	13,106	13,221	14,506	13,896	13,896	14,445



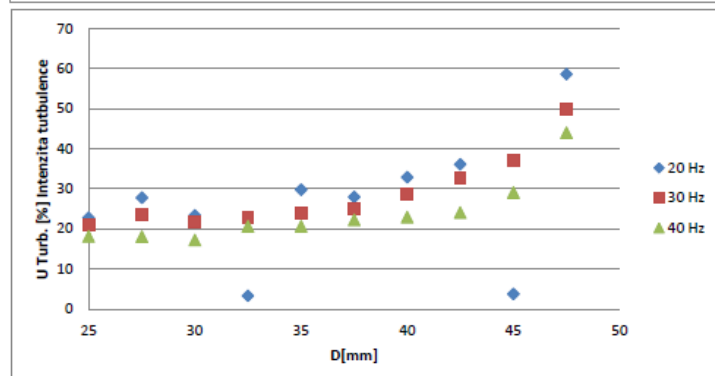
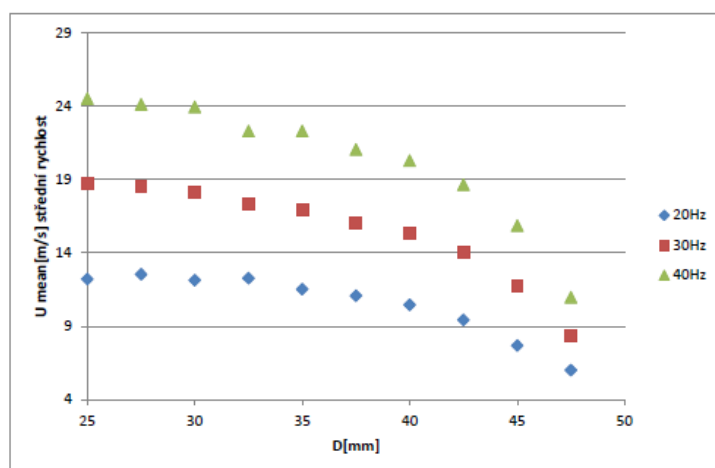


## Příloha B - Střední rychlost a intenzita turbulence v prázdném potrubí

Y	f[Hz]	U Mean [m/s]	U RMS	U Turb. [%]
25	20	12,204	2,817	22,713
27,5	20	12,527	3,476	27,75
30	20	12,126	2,826	23,308
32,5	20	12,258	4,074	3,235
35	20	11,515	3,421	29,713
37,5	20	11,076	3,09	27,959
40	20	10,448	3,433	32,86
42,5	20	9,422	3,397	36,06
45	20	7,672	2,584	3,675
47,5	20	6	3,517	58,615

Y	f[Hz]	U Mean [m/s]	U RMS	U Turb. [%]
25	30	18,748	3,954	21,088
27,5	30	18,513	3,776	23,398
30	30	18,147	3,96	21,821
32,5	30	17,332	3,948	22,778
35	30	16,936	4,037	23,837
37,5	30	16,054	3,999	24,909
40	30	15,289	4,399	28,773
42,5	30	14,021	4,588	32,72
45	30	11,772	4,358	37,011
47,5	30	8,383	4,181	49,878

Y	f[Hz]	U Mean [m/s]	U RMS	U Turb. [%]
25	40	24,49	4,428	18,081
27,5	40	24,103	4,345	18,027
30	40	23,922	4,11	17,182
32,5	40	22,294	4,585	20,565
35	40	22,295	4,586	20,568
37,5	40	21,03	4,669	22,202
40	40	20,27	4,633	22,858
42,5	40	18,63	4,47	23,996
45	40	15,845	4,596	29,007
47,5	40	10,963	4,822	43,979



## Příloha C - Ostatní frekvence pro vyhodnocení nejistoty měření

**frekvence=15Hz**

15

n	v	odchylka rychlosti	$v_{str}$	Q	$Q^2$	$\Delta p$	odchylka tlaku
(-)	[m/s]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[%]
1	4,9	0,012396694	3,92	0,00493	2,43E-05	52	0,009708738
2	4,8	0,008264463	3,84	0,00483	2,33E-05	51	0,009708738
3	4,85	0,002066116	3,88	0,00488	2,38E-05	52	0,009708738
4	4,9	0,012396694	3,92	0,00493	2,43E-05	51	0,009708738
5	4,85	0,002066116	3,88	0,00488	2,38E-05	53	0,029126214
6	4,75	0,018595041	3,8	0,00478	2,28E-05	52	0,009708738
7	4,8	0,008264463	3,84	0,00483	2,33E-05	51	0,009708738
8	4,85	0,002066116	3,88	0,00488	2,38E-05	52	0,009708738
9	4,8	0,008264463	3,84	0,00483	2,33E-05	51	0,009708738
10	4,9	0,012396694	3,92	0,00493	2,43E-05	50	0,029126214
průměrné hodnoty	4,84	0,008677686	3,872	0,00487	2,37E-05	51,5	0,013592233
směrodatné odchylky	0,049	0,005210546	0,0392	4,9E-05	4,79E-07	0,8062	0,00776699
variační koeficient	0,0101	0,600453343	0,0101	0,01012	0,020218	0,0157	0,571428571

**frekvence=20Hz**

20

n	v	odchylka rychlosti	$v_{str}$	Q	$Q^2$	$\Delta p$	odchylka tlaku
(-)	[m/s]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[%]
1	6,5	0,016419077	5,2	0,00653	4,27E-05	101	0,005976096
2	6,4	0,000781861	5,12	0,00643	4,14E-05	100	0,003984064
3	6,3	0,014855356	5,04	0,00633	4,01E-05	100	0,003984064
4	6,4	0,000781861	5,12	0,00643	4,14E-05	100	0,003984064
5	6,3	0,014855356	5,04	0,00633	4,01E-05	100	0,003984064
6	6,45	0,008600469	5,16	0,00648	4,2E-05	101	0,005976096
7	6,4	0,000781861	5,12	0,00643	4,14E-05	102	0,015936255
8	6,4	0,000781861	5,12	0,00643	4,14E-05	100	0,003984064
9	6,3	0,014855356	5,04	0,00633	4,01E-05	101	0,005976096
10	6,5	0,016419077	5,2	0,00653	4,27E-05	99	0,013944223
průměrné hodnoty	6,395	0,008913213	5,116	0,00643	4,13E-05	100,4	0,006772908
směrodatné odchylky	0,0723	0,00695109	0,0578	7,3E-05	9,34E-07	0,8	0,004197472
variační koeficient	0,0113	0,779863536	0,0113	0,0113	0,022601	0,008	0,619744338

**frekvence=25Hz**

25

n	v	odchylka rychlosti	$v_{str}$	Q	$Q^2$	$\Delta p$	odchylka tlaku
(-)	[m/s]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[%]
1	7,9	0,001264223	6,32	0,007942	6,31E-05	159	0,00625
2	8	0,011378003	6,4	0,008042	6,47E-05	161	0,00625
3	7,8	0,013906448	6,24	0,007841	6,15E-05	161	0,00625
4	7,9	0,001264223	6,32	0,007942	6,31E-05	160	0
5	8	0,011378003	6,4	0,008042	6,47E-05	159	0,00625
6	7,9	0,001264223	6,32	0,007942	6,31E-05	159	0,00625
7	8	0,011378003	6,4	0,008042	6,47E-05	160	0
8	7,8	0,013906448	6,24	0,007841	6,15E-05	160	0
9	8	0,011378003	6,4	0,008042	6,47E-05	161	0,00625
10	7,8	0,013906448	6,24	0,007841	6,15E-05	160	0
průměrné hodnoty	7,91	0,009102402	6,328	0,007952	6,32E-05	160	0,00375
směrodatné odchylky	0,0831	0,005236995	0,066	8,35E-05	1,33E-06	0,775	0,003061862
variační koeficient	0,0105	0,575342088	0,011	0,010501	0,02098	0,005	0,816496581

**frekvence=30Hz**

30

n	v	odchylka rychlosti	$v_{stř}$	Q	$Q^2$	$\Delta p$	odchylka tlaku
(-)	[m/s]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[%]
1	9,3	0,001076426	7,44	0,00935	8,7E-05	232	0,005199307
2	9,2	0,009687836	7,36	0,00925	8,6E-05	230	0,003466205
3	9,3	0,001076426	7,44	0,00935	8,7E-05	231	0,000866551
4	9,2	0,009687836	7,36	0,00925	8,6E-05	230	0,003466205
5	9,4	0,011840689	7,52	0,00945	8,9E-05	230	0,003466205
6	9,4	0,011840689	7,52	0,00945	8,9E-05	231	0,000866551
7	9,3	0,001076426	7,44	0,00935	8,7E-05	230	0,003466205
8	9,3	0,001076426	7,44	0,00935	8,7E-05	231	0,000866551
9	9,2	0,009687836	7,36	0,00925	8,6E-05	231	0,000866551
10	9,3	0,001076426	7,44	0,00935	8,7E-05	232	0,005199307
průměrné hodnoty	9,29	0,005812702	7,432	0,00934	8,7E-05	230,8	0,002772964
směrodatné odchylky	0,07	0,00479463	0,056	7E-05	1,3E-06	0,748	0,001680305
variační koeficient	0,0075	0,82485398	0,0075	0,00753	0,01508	0,003	0,605959982

**frekvence=35Hz**

35

n	v	odchylka rychlosti	$v_{stř}$	Q	$Q^2$	$\Delta p$	odchylka tlaku
(-)	[m/s]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[%]
1	10,8	0,000926784	8,64	0,01086	0,00012	315	0
2	10,9	0,010194625	8,72	0,01096	0,00012	316	0,003174603
3	10,8	0,000926784	8,64	0,01086	0,00012	317	0,006349206
4	10,8	0,000926784	8,64	0,01086	0,00012	315	0
5	10,7	0,008341057	8,56	0,01076	0,00012	314	0,003174603
6	10,8	0,000926784	8,64	0,01086	0,00012	315	0
7	10,8	0,000926784	8,64	0,01086	0,00012	316	0,003174603
8	10,7	0,008341057	8,56	0,01076	0,00012	315	0
9	10,7	0,008341057	8,56	0,01076	0,00012	313	0,006349206
10	10,9	0,010194625	8,72	0,01096	0,00012	314	0,003174603
průměrné hodnoty	10,79	0,005004634	8,632	0,01085	0,00012	315	0,002539683
směrodatné odchylky	0,07	0,004128092	0,056	7E-05	1,5E-06	1,095	0,002375655
variační koeficient	0,0065	0,82485398	0,0065	0,00649	0,01298	0,003	0,935414347

**frekvence=40Hz**

40

n	v	odchylka rychlosti	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	odchylka tlaku
(-)	[m/s]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[%]
1	12,2	0,000409668	9,76	0,01226	0,00015	412	0,001701921
2	12,3	0,007783695	9,84	0,01237	0,00015	412	0,001701921
3	12,35	0,011880377	9,88	0,01242	0,00015	412	0,001701921
4	12,2	0,000409668	9,76	0,01226	0,00015	412	0,001701921
5	12,3	0,007783695	9,84	0,01237	0,00015	412	0,001701921
6	12,2	0,000409668	9,76	0,01226	0,00015	411	0,000729395
7	12,2	0,000409668	9,76	0,01226	0,00015	411	0,000729395
8	12	0,016796395	9,6	0,01206	0,00015	410	0,00316071
9	12,2	0,000409668	9,76	0,01226	0,00015	410	0,00316071
10	12,1	0,008603032	9,68	0,01216	0,00015	411	0,000729395
průměrné hodnoty	12,205	0,005489553	9,764	0,01227	0,00015	411,3	0,001701921
směrodatné odchylky	0,096	0,005638558	0,077	9,7E-05	2,4E-06	0,781	0,000842232
variační koeficient	0,0079	1,027143315	0,008	0,00787	0,0157	0,0019	0,494871659

**frekvence=45Hz**

**45**

n	v	odchylka rychlosti	$v_{stř}$	Q	$Q^2$	$\Delta p$	odchylka tlaku
(-)	[m/s]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[%]
1	13,5	0,00147929	10,8	0,01357	0,0002	523	0,000956938
2	13,7	0,013313609	10,96	0,01377	0,0002	525	0,004784689
3	13,6	0,00591716	10,88	0,01367	0,0002	523	0,000956938
4	13,6	0,00591716	10,88	0,01367	0,0002	523	0,000956938
5	13,5	0,00147929	10,8	0,01357	0,0002	522	0,000956938
6	13,6	0,00591716	10,88	0,01367	0,0002	523	0,000956938
7	13,3	0,016272189	10,64	0,01337	0,0002	522	0,000956938
8	13,4	0,00887574	10,72	0,01347	0,0002	521	0,002870813
9	13,4	0,00887574	10,72	0,01347	0,0002	522	0,000956938
10	13,6	0,00591716	10,88	0,01367	0,0002	521	0,002870813
průměrné hodnoty	13,52	0,00739645	10,82	0,01359	0,0002	522,5	0,001722488
směrodatné odchylky	0,1166	0,00443787	0,093	0,00012	3E-06	1,118	0,001269521
variační koeficient	0,0086	0,6	0,009	0,00863	0,0172	0,0021	0,737027731

**frekvence=50Hz**

**50**

n	v	odchylka rychlosti	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	odchylka tlaku
(-)	[m/s]	[%]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[%]
1	14,9	1,19219E-16	11,92	0,01498	0,00022	645	0,004203643
2	15	0,006711409	12	0,01508	0,00023	645	0,004203643
3	15	0,006711409	12	0,01508	0,00023	643	0,001089833
4	14,8	0,006711409	11,84	0,01488	0,00022	645	0,004203643
5	14,9	1,19219E-16	11,92	0,01498	0,00022	643	0,001089833
6	14,9	1,19219E-16	11,92	0,01498	0,00022	640	0,003580881
7	14,9	1,19219E-16	11,92	0,01498	0,00022	641	0,002023976
8	15	0,006711409	12	0,01508	0,00023	641	0,002023976
9	14,8	0,006711409	11,84	0,01488	0,00022	640	0,003580881
10	14,8	0,006711409	11,84	0,01488	0,00022	640	0,003580881
průměrné hodnoty	14,9	0,004026846	11,92	0,01498	0,00022	642,3	0,002958119
směrodatné odchylky	0,07746	0,003287906	0,062	7,8E-05	2,3E-06	2,052	0,001205973
variační koeficient	0,0052	0,816496581	0,005	0,0052	0,0104	0,003	0,407682457

## Příloha D - Charakteristiky kulových kohoutů DN 25 a DN 20

**Kulový kohout DN 25**

	frekvence=10Hz	S=	0,000491	[m <sup>2</sup> ]		
	v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	4,8	3,84	0,001885	3,5531E-06	11	5647,059
přivřený o 20°	4,3	3,44	0,001689	2,8514E-06	15	5058,824
přivřený o 40°	2,64	2,112	0,001037	1,0748E-06	22	3105,882
přivřený o 60°	0	0	0	0	0	0
přivřený o 80°	rychlost je nulová		0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0

**frekvence=15Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
7,1	5,68	0,002788163	7,77386E-06	29	8352,94118
6,3	5,04	0,002474004	6,1207E-06	35	7411,76471
3,6	2,88	0,001413717	1,99859E-06	55	4235,29412
1,1	0,88	0,000431969	1,86597E-07	65	1294,11765
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

**frekvence=20Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
9,7	7,76	0,00380918	1,45099E-05	52	11411,76471
8,3	6,64	0,0032594	1,06237E-05	65	9764,705882
4,8	3,84	0,00188496	3,55306E-06	102	5647,058824
1,45	1,16	0,00056941	3,24232E-07	118	1705,882353
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

**frekvence=25Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
12,4	9,92	0,00486947	2,37117E-05	82	14588,23529
10,6	8,48	0,00416261	1,73273E-05	105	12470,58824
5,8	4,64	0,00227765	5,18771E-06	163	6823,529412
1,6	1,28	0,00062832	3,94784E-07	189	1882,352941
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

**frekvence=30Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
14,9	11,92	0,005851216	3,42367E-05	121	17529,41176
12,6	10,08	0,004948008	2,44828E-05	155	14823,52941
6,9	5,52	0,002709624	7,34206E-06	242	8117,647059
1,9	1,52	0,000746128	5,56707E-07	272	2235,294118
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

**frekvence=35Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
17,4	13,92	0,006832964	4,66894E-05	162	20470,58824
15,1	12,08	0,005929756	3,5162E-05	212	17764,70588
8,1	6,48	0,003180863	1,01179E-05	331	9529,411765
2,1	1,68	0,000824668	6,80077E-07	375	2470,588235
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0



frekvence=40Hz

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
19,7	15,76	0,007736172	5,98484E-05	215	23176,47059
16,9	13,52	0,006636614	4,40447E-05	282	19882,35294
9,3	7,44	0,003652101	1,33378E-05	432	10941,17647
2,3	1,84	0,000903208	8,15784E-07	491	2705,882353
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

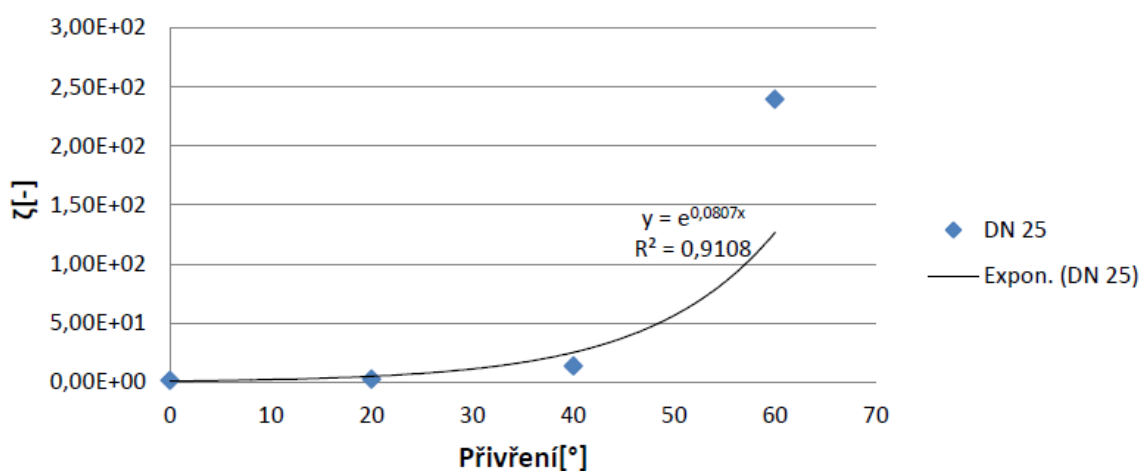
frekvence=45Hz

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
22,1	17,68	0,00867865	7,5319E-05	275	26000
19	15,2	0,007461283	5,56707E-05	352	22352,94118
10,3	8,24	0,004044801	1,63604E-05	548	12117,64706
2,6	2,08	0,001021018	1,04248E-06	622	3058,823529
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

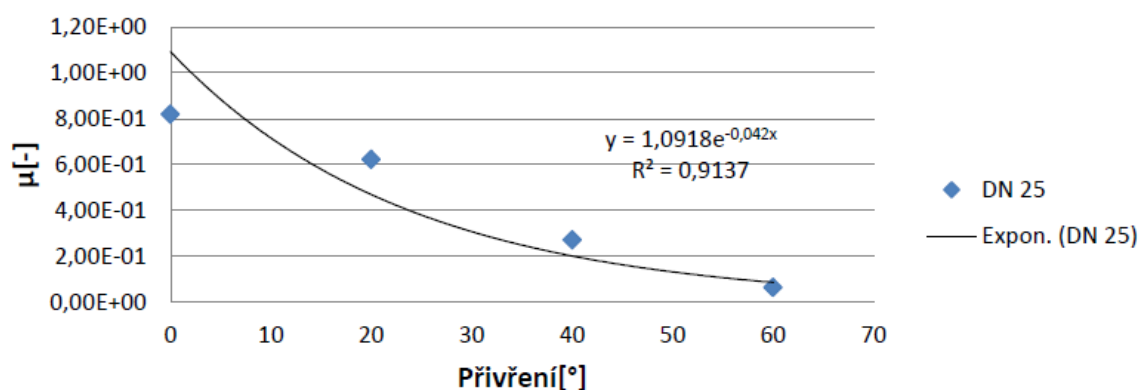
frekvence=50Hz

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re	Přivření	R	ζ	μ
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]	[°]	[kg/m <sup>5</sup> ]	[-]	[-]
24,3	19,44	0,009543	9,106E-05	342	28588,24	0	3,65E+06	1,49E+00	8,19E-01
21	16,8	0,008247	6,801E-05	435	24705,88	20	6,32E+06	2,58E+00	6,22E-01
11,4	9,12	0,004477	2,004E-05	678	13411,76	40	3,32E+07	1,36E+01	2,72E-01
2,8	2,24	0,0011	1,209E-06	768	3294,118	60	5,86E+08	2,39E+02	6,46E-02
0	0	0	0	0	0	80	0	0	0
0	0	0	0	0	0	90	0	0	0

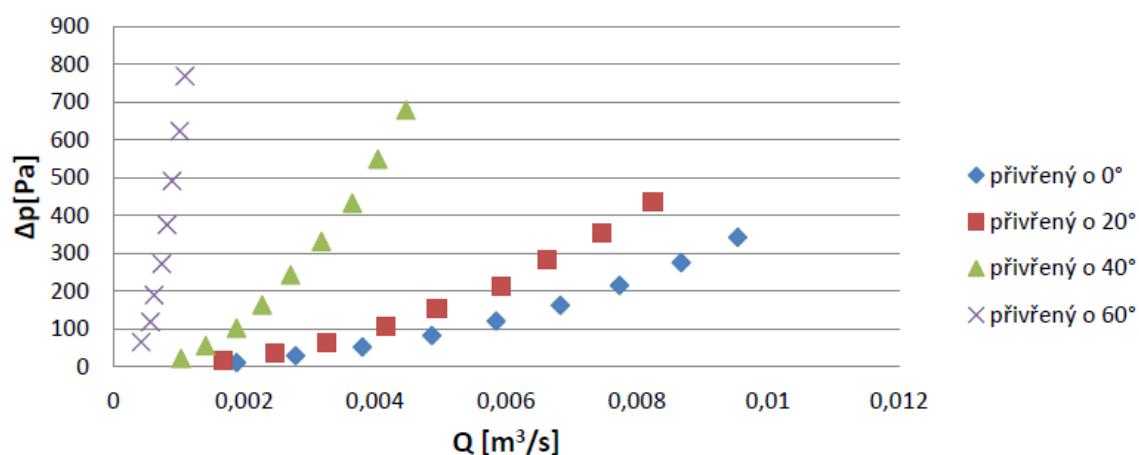
### Ztrátový součinitel v závislosti na přivření DN 25



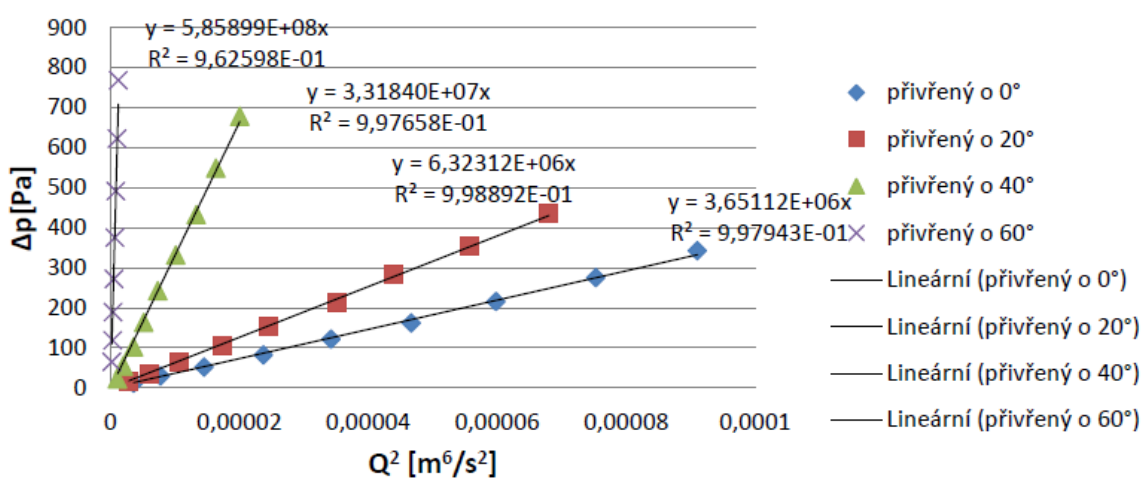
## Průtokový součinitel v závislosti na přivření DN 25



## Tlaková ztráta kulového kohoutu DN25 $\Delta p = f(Q)$



## Charakteristika $\Delta p = f(Q^2)$



# Kulový kohout DN 20

	frekvence=10Hz					
	S=		0,000314		[m <sup>2</sup> ]	
	v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
	[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
přivřený o 0°	4,5	3,6	0,001131	1,2791E-06	15	4235,294
přivřený o 20°	3,4	2,72	0,000855	7,30193E-07	22	3200
přivřený o 40°	1,8	1,44	0,000452	2,04656E-07	28	1694,118
přivřený o 60°	0	0	0	0	30	0
přivřený o 80°	rychlost je nulová		0	0	0	0
přivřený o 90°	0	0	0	0	0	0

## frekvence=15Hz

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
6,8	5,44	0,001709026	2,92077E-06	35	6400
4,8	3,84	0,001206372	1,45533E-06	51	4517,647059
2,3	1,84	0,000578053	3,34145E-07	62	2164,705882
1,1	0,88	0,00027646	7,64302E-08	65	1035,294118
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

## frekvence=20Hz

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
9,1	7,28	0,002287079	5,23073E-06	61	8564,705882
6,5	5,2	0,001633628	2,66874E-06	92	6117,647059
2,8	2,24	0,000703717	4,95217E-07	115	2635,294118
1,5	1,2	0,000376991	1,42122E-07	121	1411,764706
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

## frekvence=25Hz

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
11,7	9,36	0,002940531	8,64672E-06	90	11011,76471
8,1	6,48	0,002035752	4,14429E-06	145	7623,529412
3,5	2,8	0,000879646	7,73777E-07	182	3294,117647
1,8	1,44	0,000452389	2,04656E-07	191	1694,117647
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

## frekvence=30Hz

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
14,1	11,28	0,003543717	1,25579E-05	125	13270,58824
9,5	7,6	0,00238761	5,70068E-06	211	8941,176471
4,4	3,52	0,001105841	1,22288E-06	265	4141,176471
2	1,6	0,000502655	2,52662E-07	278,00	1882,352941
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0



**frekvence=35Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
16,7	13,36	0,004197168	1,76162E-05	165	15717,64706
11,1	8,88	0,002789734	7,78262E-06	288	10447,05882
4,7	3,76	0,001181239	1,39533E-06	360	4423,529412
2,37	1,896	0,000595646	3,54794E-07	378	2230,588235
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

**frekvence=40Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
19,1	15,28	0,00480035	2,30434E-05	212	17976,47059
12,7	10,16	0,00319186	1,0188E-05	375	11952,94118
5,8	4,64	0,0014577	2,12489E-06	472	5458,823529
2,6	2,08	0,00065345	4,26999E-07	492	2447,058824
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

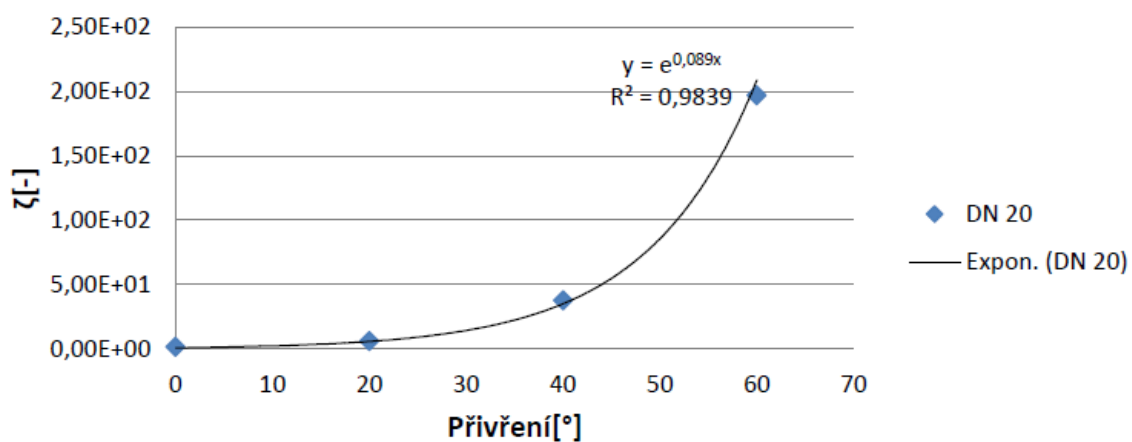
**frekvence=45Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]
21,3	17,04	0,005353274	2,86575E-05	265	20047,05882
14,3	11,44	0,003593982	1,29167E-05	472	13458,82353
6,5	5,2	0,001633628	2,66874E-06	595	6117,647059
2,85	2,28	0,000716283	5,13062E-07	625	2682,352941
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

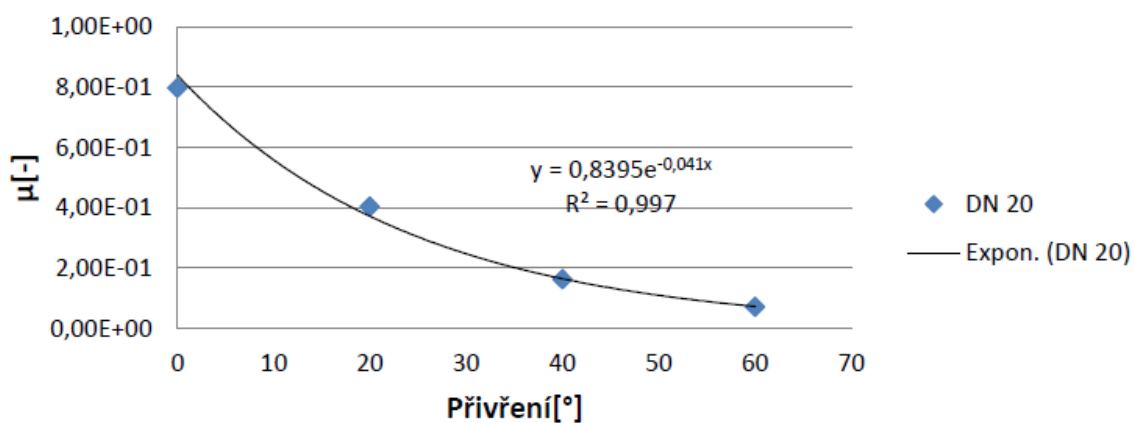
**frekvence=50Hz**

v	v <sub>stř</sub>	Q	Q <sup>2</sup>	Δp	Re	Přivření	R	ζ	μ
[m/s]	[m/s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>6</sup> /s <sup>2</sup> ]	[Pa]	[-]	[°]	[kg/m <sup>5</sup> ]	[-]	[-]
23,5	18,8	0,005906	3,49E-05	328	22117,647	0	9,40E+06	1,57E+00	7,97E-01
15,8	12,64	0,003971	1,58E-05	582	14870,588	20	3,67E+07	6,14E+00	4,03E-01
7,2	5,76	0,00181	3,27E-06	735	6776,4706	40	2,26E+08	3,78E+01	1,63E-01
3,1	2,48	0,000779	6,07E-07	765	2917,6471	60	1,18E+09	1,97E+02	7,13E-02
0	0	0	0	0	0	80	0	0	0
0	0	0	0	0	0	90	0	0	0

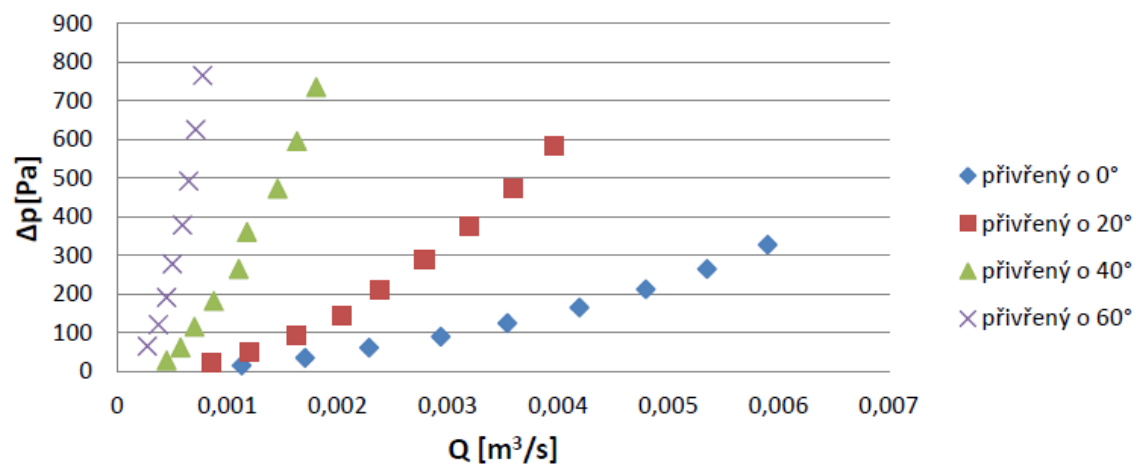
## Ztrátový součinitel v závislosti na přivření DN 20



## Průtokový součinitel v závislosti na přivření DN 20



## Tlaková ztráta kulového kohoutu DN20 $\Delta p = f(Q)$



## Charakteristika $\Delta p = f(Q^2)$

